



Kulstofbinding ved skovrejsning 2020

Sagsnotat

Johannsen, Vivian Kvist; Nord-Larsen, Thomas; Vesterdal, Lars; Bentsen, Niclas Scott

Publication date:
2020

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Document license:
[Ikke-specificeret](#)

Citation for published version (APA):
Johannsen, V. K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., & Bentsen, N. S., (2020). *Kulstofbinding ved skovrejsning 2020: Sagsnotat*, 44 s.

Miljø- og Fødevareministeriet – 2019.07.24

Att. Kresten Petersen krpet@mfvm.dk

Opdateret 2020.02.04/2020.05.25

Att. Pernille Karlog /Christian Lundmark Jensen/Mogens Krogh



SAGSNOTAT

25. MAJ 2020

Vedr. Kulstofbinding ved skovrejsning 2020

SKOV, NATUR OG BIOMASSE

Sagsbehandler Vivian Kvist Johannsen, Thomas Nord-Larsen, Lars Vesterdal, Niclas Scott Bentsen

ROLIGHEDSVEJ 23, 1958
FREDERIKSBERG C

Kvalitetssikring Inge Stupak, Ingeborg Callesen, Karsten Raulund-
(1. version) Rasmussen og Lars Graudal – KU-IGN
Steen Gyldenkerne, AU-DCE
Jette Bredahl, KU-IFRO

TLF 35331699
DIR
MOB 20300969

Indhold

1. Baggrund.....	2
2. Resume.....	2
2.1. Formål.....	2
2.2. Resultater.....	3
2.3. Konklusion.....	4
3. Sammendragstabel.....	5
4. Data og metoder.....	6
4.1. Forkortelser og begreber.....	6
4.2. Referenceopgørelser.....	7
4.3. Vækstmodeller.....	10
4.4. Naturlig tilgroning og ekstra brede løvhegn.....	16
4.5. Dødt ved og litterlag.....	17
4.6. Jordbund.....	18
4.7. Høst af træ (biomasse).....	20
4.8. Tidsperspektiv.....	24
5. Resultater.....	25
6. Diskussion.....	30
7. Konklusion.....	30
8. Referencer.....	31

VKJ@IGN.KU.DK
www.ign.ku.dk

REF: VKJ

1. Baggrund

Skovrejsning og forvaltning af eksisterende skov bidrager til klimamålsætningerne gennem træernes optag af CO₂ fra atmosfæren og lagring i skovøkosystemet og i træprodukter samt ved, at det producerede træ erstatter fossiltunge råmaterialer og fossile brændsler. Skovrejsning er derfor et anerkendt og vigtigt virkemiddel til at opnå målsætningerne i forhold til at imødegå klimaændringer.

For at kunne træffe beslutninger om hvilke virkemidler, der omkostningseffektivt vil kunne anvendes til at opfylde klimamålsætningerne, er det nødvendigt at få belyst, hvor meget CO₂, der kan bindes ved skovrejsning inden for en given tidsramme, og hvordan ændret forvaltning af skov kan påvirke, mængden af CO₂ der bindes.

Kulstofbindingen afhænger først og fremmest af produktiviteten. Produktiviteten afhænger af lokale vækstvilkår som jordbundens frugtbarhed, nedbør og temperatur. Produktiviteten afhænger også af den gennemførte skovdyrkning i forbindelse med etablering og i forvaltning af skov. Her spiller træartsvalget en meget stor rolle.

Nærværende notat er en opdateret version af tilsvarende notat fra 2019. Notet er udbygget baseret på en række spørgsmål og med scenarier med lærk som ammetræ.

2. Resume

2.1. Formål

Målet med dette notat er at tilvejebringe opdaterede og transparent kvantificerede estimater for kulstofbindingen ved skovrejsning under forskellige scenarier. Dette omfatter, udover effekten af at opbygge kulstoflager i skov også kulstoflageret i træprodukter samt effekten ved substitution af fossiltunge materialer og fossile brændsler med træ. Målet er endvidere at identificere og kvantificere årsagerne til variationen i estimaterne fra de forskellige scenarier samt at identificere områder med manglende viden.

Forskellige opgørelser har tidligere set på forskellige dele af kulstofbindingen over tid. Nærværende notat forsøger at samle information om en hel bevoksnings udviklingsforløb og dækker dermed perioden fra opbygning af ny skov indtil forventet afdrift og gentilplantning i næste generation (100 års perspektiv).

Der opstilles beregninger inden for tre hovedscenarier af skovrejsning:

1. Klassisk skovrejsning på landbrugsjord, jf. tilskudsordningen til privat skovrejsning.
2. Skovrejsning med hurtigt voksende træarter og hjælpetræer.

3. Naturlig tilgroning hvor dyrkning af landbrugsjord opgives og overlades til naturlig tilgroning uden efterfølgende skovdrift.

SIDE 3 AF 35

Som reference for kulstofbinding i skovarealer, medtages en række opgørelser for udvikling for skovrejsning siden 1990, for skovarealet som helhed og for udlæg af eksisterende skovarealer uden aktiv høst af træ. Der inddrages ligeledes reference til ”Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030”, der angiver udvikling i skovarealet frem til 2050 under EU’s regler.

2.2. Resultater

Kulstofbindingen varierer meget over tid ved etablering af skov (fra 1 til 42 t CO₂ eq /ha/år - Tabel 1). I de første 10 år efter skovrejsning bindes der blot ca. 2 t CO₂ eq /ha/år på de ringere jorder, når der plantes skov med eg eller andre langsomt voksende træarter og når arealerne overlades til naturlig tilgroning. På gode jorder kan der i de 10 første år bindes 11 t CO₂ eq /ha/år når der plantes hurtigt voksende løvtræer og 17 t CO₂ eq /ha/år når der plantes hurtigt voksende nåletræer. Set over en 100-årig periode varierer effekten ligeledes, om end mindre, fra under 5 til 21 t CO₂ eq /ha/år. Dertil kommer naturlig variation fra år til år betinget af vejr og samspil mellem træernes genetik og andre organismer som svampe, insekter og fauna, der på forskellig vis påvirker væksten af træer i nye skove.

En del af kulstofbindingen fra skoven kan som træprodukter lagre kulstof i lang tid i konstruktioner. Samtidig kan træprodukter anvendes til substitution af fossiltunge materialer (cement, stål, tegl eller mineraluld) og træ kan anvendes til energi. Både binding i træprodukter og substitutionseffekten vil afhænge udnyttelsen af det høstede træ og alternativerne til træ.

Et overblik over resultaterne er angivet i tabellen sidst i resuméet.

- A. Skovrejsning med løvtræer (I) medfører lavere kulstofbinding (3-11 t CO₂ eq/ha/år) de første 0-30 år end skovrejsning med nåletræarter og hurtigt voksende træarter (II) (13-31 CO₂ eq/ha/år).
- B. Skovrejsning på næringsrige, lerholdige jorde (høj bonitet) har generelt en højere kulstofbinding end skovrejsning på magre jorde (lav bonitet).
- C. Typisk forekommer den største årlige kulstofbinding i alderen 20-40 år efter etablering af skov (I). Dog for kulturer med hurtigt voksende træarter (II) allerede efter 10-20 år.

- D. Naturlig tilgroning (III) har meget variabel tilvækst, men oftest med lavere kulstofbinding end de andre scenarier som følge af lavere tæthed og langsomt voksende træarter.
- E. Ved skovrejsning med hurtigt voksende hjælpetræarter og/eller nåletræer (II) sker der en hurtig kulstofbinding, og der fastholdes et højt niveau også over tid.
- F. En del (40-60 %) af det kulstof der bindes ved træernes vækst, høstes mens træerne vokser og resten findes i den del af træerne som kan høstes til sidst, hvorefter en ny generation af træer gror op. Høst af træ kan enten anvendes til materialer eller til substitution for fossile brændsler. En øget anvendelse til materialer vil give en større kulstofbinding.
- G. Der forventes en lille, men positiv langsigtet effekt på jordbundens indhold af kulstof og en positiv effekt på skovbundens indhold af dødt ved og litter.
- H. Effekten af ophør af dræning er ikke medtaget. Det vil føre til øget binding af CO₂, men kan også samtidig øge udledningen af metan og lattergas (jf. standardberegninger) og føre til mindre vækst i træerne på arealet.

2.3. Konklusion

Ved skovrejsning er der ikke ét tal for kulstofoptaget, der vil være gældende, men kulstofoptaget vil være påvirket af følgende hovedfaktorer:

- Hvor – jordbunden og lokale vækstvilkår (nedbør, temperatur).
- Hvordan – træart og forvaltning (plantning, tilgroning, hjælpetræer).
- Hvornår – alder af skovrejsningen påvirker kulstofoptaget i den aktuelle periode.

Ny skovrejsning, som den er gennemført siden 1990, vil have en gennemsnitlig kulstofbinding på 12 t CO₂ eq/ha/år, med en spændvidde på 4-21 t CO₂ eq/ha/år afhængig af hovedfaktorerne. Det samlede skovareal har en årlig kulstofbinding på 9 t CO₂ eq/ha/år. Både kulstoflageret i skoven og mulighed for substitutionseffekter gennem høst af træ påvirkes af skovforvaltning og udviklingen i de sektorer der anvender høstet træ.

3. Sammendragstabel

SIDE 5 AF 35

Årligt optag af kulstof (t CO ₂ eq /ha/år) \ Alder*	0-10	10-20	20-30	30-40	40-100	Gns.0-100
I: Løv, bøg, høj bonitet	3	6	22	22	17	16
I: Løv, bøg, lav bonitet	2	2	7	17	14	11
I: Løv, eg, høj bonitet	3	7	18	15	10	10
I: Løv, eg, lav bonitet	2	2	8	14	9	8
I: Blandet løv med indblanding af nål, høj bonitet	3	8	21	36	14	15
I: Blandet løv med indblanding af nål, lav bonitet	2	3	7	24	13	11
I: Løv, bøg med ekstra brede skovbryn, høj bonitet	3	6	18	19	14	13
I: Løv, bøg med ekstra brede skovbryn, lav bonitet	2	2	6	14	11	9
II: Hurtigt voksende kultur, bøg med poppel, høj bonitet	11	27	22	23	17	19
II: Hurtigt voksende kultur, eg med poppel, lav bonitet	8	24	6	14	9	11
II: Hurtigt voksende kultur, douglasgran med poppel, høj bonitet	17	42	35	26	15	21
II: Hurtigvoksende kultur, rødgran med poppel, lav bonitet	8	27	7	20	13	14
II: Hurtigt voksende kultur, ½ douglasgran og ½ rødgran med lærk, høj bonitet	13	32	25	30	14	19
II: Hurtigvoksende kultur, , ½ douglasgran og ½ rødgran med lærk, lav bonitet	10	22	14	24	14	16
III: Naturlig tilgroning, mange frøkilder	3	3	4	11	12	9
III: Naturlig tilgroning, få frøkilder	2	2	4	6	10	7
III: Naturlig tilgroning, Trædække under 50 % og max 5 m høj	3	3	4	4	1	2
Reference I – NFI skovrejsning siden 1990	5	7	17	19	12	12
Reference II – NFI naturlig tilgroning siden 1990	3	5	10	13	5	6
Reference III – Det danske skovareal – samlet ved konstant areal	9	9	9	9	9	9
Reference IV – Suserup skov, urørt skov	-9	15	-	-	-	1
Reference V – Ophør af drift af 150 år gammel bøgeskov	4	4	4	4	2	2

- Alder: Der er beregnet kulstofpuljer ved tidspunkterne 0, 10, 20, 30, 40 og 100 år. De første 4 intervaller angiver således 10 vækstsæsoner og den sidste 60 vækstsæsoner og angiver gennemsnitlig ændring i de intervaller.

4. Data og metoder

SIDE 6 AF 35

4.1. Forkortelser og begreber

AG – Overjordisk levende biomasse, omfatter alle dele af træerne (above ground biomass, også ofte angivet som AGB)

BG – Underjordisk levende biomasse, omfatter rødder af levende træer (below ground biomass, også ofte angivet som BGB)

DW – dødt ved, som opmålt med NFI, med en mindste diameter på 10 cm. Omfatter såvel stående døde træer som liggende stykker på minimum 2 m længde.

FF – blade, kviste og grene der ligger i skovbunden (forest floor, også nogle gange omtalt som litterlaget)

SOC – kulstofindhold i jorden, opgjort til 1 m dybde, jf. standarden i IPCC rapportering (soil organic carbon)

CO₂ / C – Omregning, 1 ton C svarer til 44/12 t CO₂.

Kulstofoptag - beskriver processen med optag af CO₂ gennem fotosyntese i planter. Det beskriver en ændring i kulstoflager over tid.

Kulstoflager – er beskrivelsen af en samlet mængde kulstof i en pulje (fx levende biomasse, dødt ved eller jordbunden). Lager opgøres ved et bestemt tidspunkt. I rapportering for skov til IPCC med 31.12 hver år som skærings dato.

Udledning af drivhusgasser – beskriver processer der frigiver drivhusgasser. I beregningerne medtages udledning af kuldioxid (CO₂), lattergas (N₂O) og metan (CH₄) fra jord, særligt organiske og våde jorde. De omregnes alle til CO₂ ækvivalenter (ud fra deres opvarmningspotential i atmosfæren det såkaldte ”global warming potential” GWP100 – dvs. de forskellige drivhusgassers effekt i et 100 års perspektiv) hvor GWP er 298 for lattergas og 25 for metan.

Substitutionseffekt – den CO₂ der fortrænges ved brug af træ i stedet for andre materialer (til energi og byggeri). Substitutionseffekt kan opgøres både direkte ift. Mængden af energi der dannes ved forbrænding af træ vs forbrænding af fossil energi. Ved substitution af byggematerialer som beton, kan forskellige elementer inddrages i substitutionseffekten – dvs. forskelle i: energi forbrug ved produktion af bygningselement, energi til transport og byggeri, samt lagring af CO₂ i byggeri. Forskellige systemafgrænsninger påvirker opgørelsen af substitutionseffekt.

Klimaeffekt – bruges til beskrivelse af den samlede effekt af kulstofoptag og udledning af drivhusgasser – kuldioxid (CO₂), lattergas (N₂O) og

metan (CH₄). I denne samlede klimaeffekt kan også indgå substitutionseffekter og albedo effekter (varme optag/refleksion fra overfladen). I nærværende er disse to sidste elementer ikke specifikt kvantificeret og klimaeffekt anvendes her om drivhusgasbalance.

SIDE 7 AF 35

4.2. Referenceopgørelser

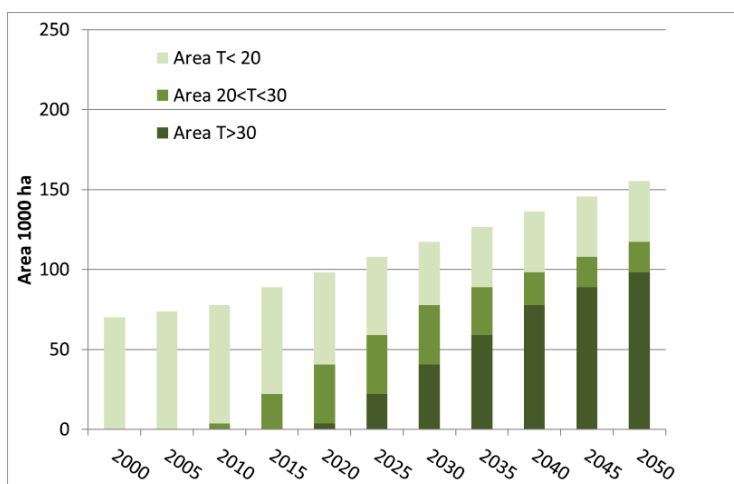
En række opgørelser har tidligere arbejdet med kulstofbinding i danske skove.

I ”Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030” (Johannsen et al. 2019) er der lavet opgørelser for skovrejsning siden 1990 såvel som for hele skovarealet, ligesom der er lavet særlige analyser for andre tiltag. Disse opgørelser er medtaget som reference for scenarierne.

4.2.1. Skovrejsning siden 1990

Vækst for skovrejsning siden 1990 er baseret på modellerne opstillet i Johannsen et al. (2019) og valideringen fremgår af rapportens Tabel 5. Den kombination af modeller, der kunne reproducere udviklingen i kulstofpuljerne i skovrejsningen viste sig at være en kombination af vækstmodeller (Vidar, Nord-Larsen et al. 2008) for bøg (bonitet 2) for 30 % af arealet, eg (bonitet 4) for 40 % af arealet og rødgran (bonitet 2) for 30 % af arealet, hvilket afspejler den kombination af jordbund og træarter der er i den etablerede skovrejsning siden 1990. Samtidig kunne det konstateres, at for det nye skovareal var der en bevoksningsprocent på 90 %.

Udviklingen over år (2021-2050) afspejler kombinationen af vækstmodellerne og hvor meget skovrejsning, der er etableret i hvert år siden 1990. I Figur 1 kan ses arealudviklingen fra 2000 frem til 2050, fordelt til forskellige aldersklasser.



Figur 1 Areal udvikling af skovrejsning siden 1990 fordelt til aldersklasse. Der antages en skovrejsning på 1900 ha/år efter 2015.

Nedenstående Tabel 1 er baseret på Johannsen et al. (2019), hvor særligt aldersgruppen < 20 år er påvirket af den stadig tilførsel af nye arealer med lav tilvækst samtidig med at arealer > 20 år overføres til næste aldersklasse (jf Figur 1).

Tabel 1 Kulstofbinding i det samlede skovrejsningsareal siden 1990, baseret på Johannsen et al. 2019 (bemærk her angives optag som positive værdier. I Johannsen et al 2019 anvendes rapporterings notering, med optag som negative værdier).

Aldersklasse T CO ₂ eq/ha/år	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050
pr ha alder <20	3,1	2,9	2,0	2,9	2,9	2,9
pr ha alder 20-30	13,6	13,7	15,1	14,1	9,6	14,0
pr ha alder >30	7,4	6,8	6,2	5,7	6,1	4,6

Hvis man tager 1 ha og tilplanter med 100 % bevoksningsprocent, med samme gennemsnitlige vækstmodel vil udviklingen være som angivet for *NFI skovrejsning siden 1990* (Tabel 2, Reference I). I praksis har de danske skove en bevoksningsprocent på ca. 90 %, med variation der primært afhænger af etablerings succes for planterne (huller kan opstå som følge af naturlig variation på lokaliteten der resultere i mortalitet af de plantede træer).

At fastsætte kulstoflagringen for arealer med naturlig tilgroning er vanskeligt fordi variationen er stor og erfaringerne få. Schou et al. (2014) fandt at arealer med naturlig succession etableret gennem 20 år havde en gennemsnitlig bevoksningsprocent på 50 %, hvilket er afspejlet i *NFI naturlig tilgroning siden 1990* (Tabel 2, Reference II). Der er dog ikke viden om hvorledes det vil udvikle sig ud over alder 30 år, hvor der endnu

ikke haves data. Det forventes at det stående kulstoflager på 100 år når samme niveau som den øvrige skovrejsning, men at der ikke er mulighed for høst af træ.

4.2.2. Samlet skovareal

Skovrejsning har en stor betydning for det danske skovareal, som er øget fra 193.000 ha i 1881 til mere end 625.000 ha i 2017. Alene siden 1990 er der etableret mere end 90.000 ha ny skov. Kulstofbindingen i det samlede skovareal er således stadig påvirket af processen med skovrejsning.

Væksten i de eksisterende danske skove inkl. midlertidigt ubevoksede arealer og hjælpearealer (i alt ca. 5 % af skovarealet) og på tværs af jordbundstyper og træarter er opgjort i Nord-Larsen et al. (2018). Den gennemsnitlige tilvækst er $9,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{år}$ i den overjordiske levende biomasse, svarende til ca. $9 \text{ t CO}_2 \text{ eq}/\text{ha}/\text{år}$, hvilket afspejler den aktuelle sammensætning af skovarealet med hensyn til jordbund, træarter og aldre af træerne og den skovrejsning, der er sket igennem mere end 100 år. Dette indgår som *Det danske skovareal* i (Tabel 2, Reference III).

4.2.3. Biodiversitetsskov, urørt skov og ophør af drift

Som et led i en øget indsats for biodiversitet i skov er det besluttet at udlægge en del af statsskovene til urørt skov og anden biodiversitetsskov. Kulstofbindingen ved udlæg af skov til urørt skov og anden biodiversitetsskov er behandlet Johannsen & Nord-Larsen (2020), hvortil der henvises, idet resumeet angives her. Arealet omfattet af Naturpakken har mere og ældre løvskov end resten af skovarealet, hvorfor den analyse der er lavet i notatet kun delvis kan anvendes til andre arealer, der måtte blive udlagt med biodiversitet/urørt skov som prioriteret anvendelse. Samlet set vil udlægning af 13.800 ha ekstra skov til urørt skov og biodiversitet i henhold til Naturpakken, på langt sigt (200 år), reducere arealets optag af drivhusgasser til 0-7 kt $\text{CO}_2 \text{ eq}$ pr år (inkl. hugst af træ), mod referenceudviklingens (BAU) fortsatte optag på ca. 90 kt $\text{CO}_2 \text{ eq}$ pr år. I en omstillingsperiode, hvor der fældes i biodiversitetsskovene har omlægningen ingen eller kun en mindre effekt på det samlede optag. Hvis der ikke foretages hugst i omstillingen vil der sket en opbygning af vedmasse i en periode. Efter omstillingsperioden vil udlægning af skov til biodiversitetsformål reducere arealets samlede nettooptag af CO_2 i forhold til, hvis de samme arealer blev drevet efter gennemsnitlig skovforvaltning. Reduktionen falder gradvist til 1-10 % efter 200 år, hvorefter der forventes at være en nettoligevægt i skoven, og ingen udtag af træprodukter.

Der er gennemført omfattende analyser af kulstofpuljerne i *Suserup Skov* i perioden 1990-2010 (Nord-Larsen et al. 2019) og det medtages som

reference IV sammen med en model for en *150 år gammel bøgeskov*, med en årlig tilvækst på 3 m³/ha/år dog faldende til 0 efter 100 år (baseret på data fra langsigtede forsøg som bl.a. ligger til grund for VIDAR – se også Nord-Larsen et al. 2008). Begge dele fremgår af Tabel 2 (Reference IV og V).

Tabel 2 Reference data for skov

Årligt optag af kulstof (t CO ₂ eq /ha/år) \ Alder	0-10	10-20	20-30	30-40	40-100	Gns.0-100
Reference I– NFI skovrejsning siden 1990	5	7	17	19	12	12
Reference II– NFI naturlig tilgroning siden 1990	3	5	10	13	5	6
Reference III– Det danske skovareal – samlet ved konstant areal	9	9	9	9	9	9
Reference IV– Suserup skov, urørt skov	-9	15	-	-	-	1
Reference V– Ophør af drift af 150 år gammel bøgeskov	4	4	4	4	2	2

4.3. Vækstmodeller

Beregningerne for ny skovrejsning er lavet med grundlag i vækstmodeller for danske skovtræarter (Nord-Larsen et al. 2008, Nord-Larsen et al. 2009). Disse modeller er implementeret i programmet VIDAR, som beregner udvikling i stående vedmasse samt i hugsten. Der er antaget en skovforvaltning med medium hugst svarende til den almindeligst praktiserede hugstform.

4.3.1. Standardiseret omdrift på 100 år

For alle de træarter er der her lavet en beregning for en 100 årig periode. I praksis vil omdriftsalder (tid fra frø til høst af hovedparten af træerne) varierer afhængig af lokalitet, træart og markedsforhold for det høstede træ, men i denne analyse er det valgt at fastholde ens omdriftsalder på 100 år. Der indgår følgende vækstmodeller i beregningerne – 0-100 år:

- Bøg, bonitet 2
- Bøg, bonitet 5
- Eg, bonitet 2
- Eg, bonitet 4
- Rødgran, bonitet 1
- Rødgran, bonitet 2
- Rødgran, bonitet 4
- Douglasgran, bonitet 1
- Douglasgran, bonitet 4

For hver vækstmodel er der foretaget beregning af kulstofindhold i stående vedmasse i skoven og i den høstede vedmasse (faktorer til omregning fra volumen til kulstof følger metoderne fra Danmarks Skovstatistik – Nord-Larsen & Johannsen 2016).

Ved beregning af den fulde kulstofpulje er der indregnet en underjordisk biomasse i rødde på 20 % af den overjordiske biomasse, som et gennemsnit for alle træarterne. Yderligere specificerede beregninger kan udføres, men er i denne sammenhæng vurderet af mindre indflydelse (Nielsen et al. 2015, Nord-Larsen & Nielsen 2015, Nord-Larsen et al. 2017, Skovsgaard & Nord-Larsen 2012).

Som model for hurtigt voksende hjælpetræer er anvendt en vækstmodel for poppel med en omdriftstid på 20 år. Den blev ligeledes anvendt i Graudal et al. (2013) og er baseret på en kombination af (Bergstedt 1981 og Jansen et al. 1996). Modellerne er opstillet for gode og dårlige jorde som udgangspunkt (soiltype 1 – lave boniteter og soiltype 2 – høje boniteter). Senere analyser af poppel har bekræftet at den har et højt vækstopotiale, men har ikke givet anledning til udvikling af nye vækstmodeller (Nielsen et al. 2014, Nielsen et al. 2015). Lærk er en anden art der anvendes som hjælpetræart og er anvendt i to modeller sammen med blanding 50/50 af douglasgran og rødgran. Som model for lærk henvises til Andersen (1950). Fælles for poppel og lærk er en hurtig vækst over 20 år. Der kan være varierende succesrate for vækst af hjælpetræarter. I modellerne er antaget at ammetræer (poppel såvel som lærk) ikke påvirker vækst af hovedtræarter og at de høstes efter 20 år.

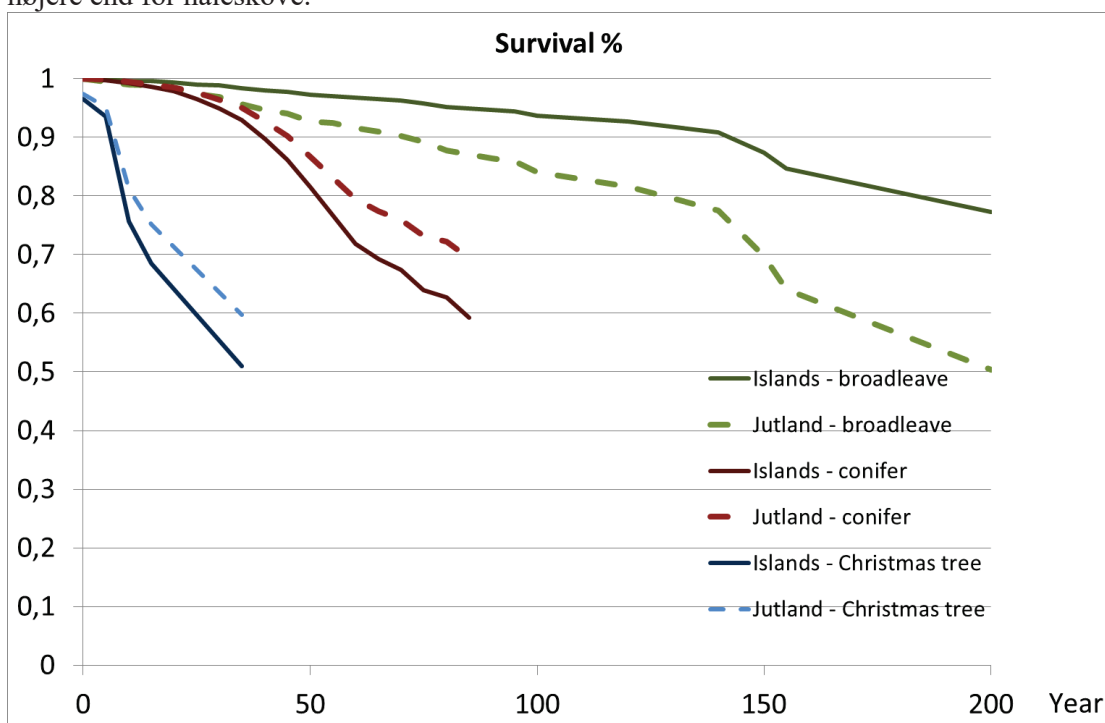
I forhold til de beregnede scenarier kan det nævnes at:

- Scenarier med ”Blandet løv med elementer af nål” har 70 % bøg og 30 % rødgran.
- Scenarier med ”Løv, bøg med ekstra brede skovbryn” har 80 % bøg og 20 % løvtræhegn
- Scenarier med ”Hurtigvoksende kultur, poppel med bøg” – har 100 % bøg og 100 % poppel, idet poppel antages at udnytte huller mellem bøgens plantepladser.
- Scenarier med ”Hurtigvoksende kulturer” – har 100 % douglasgran og 100 % poppel på høj bonitet. For scenariet på lav bonitet er der 100 % rødgran for lav bonitet og 100 % poppel. For både høj og lav bonitet antages poppet at udnytte hullerne mellem nåletræernes plantepladser. Yderligere er der to scenarier for hurtigvoksende kulturer med en blanding af douglasgran og rødgran (50/50) og med 100 % lærk i supplement de første 20 år som ammetræer.
- Alle scenarierne er lavet for arealer med 100 % bevoksningsprocent. I en del skovarealer vil der være 0-10 % huller og en tilsvarende reduktion af bevoksningsprocent.
- Der vil være brug for veje og hjælpearealer i et nyt skovareal. Det udgør 5 % i det samlede skovareal i dag (Nord-Larsen et al. 2018).

Der henvises også til regnearket for mere detaljerede formler og metoder til sammenstilling af data samt modeller.

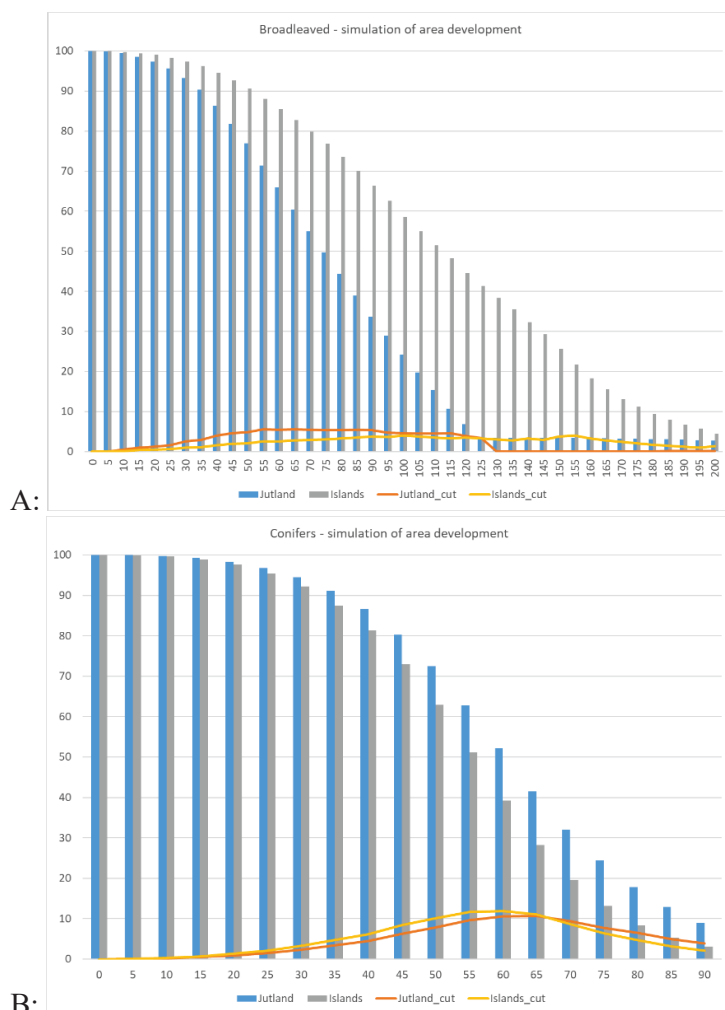
4.3.2. *Træarts og lokalitetsvariation i omdrift*

I forbindelse med udarbejdelsen af ”Danish National Forest Accounting Plan (Johannsen et al 2019) blev der beregnet overlevelsessandsynligheder for skovbevoksninger som gengivet i nedenstående Figur 2, baseret på data fra Danmarks Skovstatistik. Figuren viser at omdriftsalder for løvskove er højere end for nåleskove.



Figur 2 Overlevelsesmodel for løv, nål og juletrær på øerne og i Jylland.

En simulering af 100 ha skovareal med løv eller nål resulterer i en areal udvikling som angivet i nedenstående Figur 3.



Figur 3 Simulering af areal udvikling for løv (A) og nål (B) baseret på de estimerede overlevelsesmodeller. Bemærk at x-aksen har forskellig skala.

Dette indikerer at en omdriftsalder for nåletræer vil være 65-80 år på øerne (høj bonitet) og 70-90 i Jylland (hvor halvdelen af arealet er med lav bonitet). For løvtræer er der gennemgående flere bevoksninger på øerne der bliver 140-175 år mens skovene i Jylland har en lavere omdriftsalder på 95-120 år. Forskellene i løvtræerne afspejler en række forskelle bl.a. træartssammensætning, driftsformer og andel af arealer omfattet af forskellige udpegninger til bevaring. Endeligt valg af omdriftsalder i en konkret bevoksninger afhænger af hvad der er målsætningen der fx kan være maximal værdi af afsluttende hugst, maximal af gennemsnitligt afkast opgjort i værdi eller i kulstofbinding, eller andre forhold.

Derfor er der beregnet supplerende scenarier:

SIDE 14 AF 35

- I: løv, bøg på høj bonitet, 140 år omdrift
- I: løv, bøg på lav bonitet, 140 år omdrift
- II: nål, douglasgran på høj bonitet, med poppel, 60 år omdrift
- II: nål, douglasgran på lav bonitet, med poppel, 80 år omdrift.
- II: nål, rødgran på lav bonitet, med poppel, 80 år omdrift

For at gøre det sammenligneligt gentages samme scenarie i 200 år, idet der efter 200 år er forskellige stadier af bevoksningerne på arealet. Resultaterne heraf vises i Tabel 3 til Tabel 5 herefter. Der er samme niveau forskelle mellem de forskellige træarter og boniteter ved 200 som ved 100 års beregning. Af Tabel 4 fremgår det at over 200 års beregning, er det særligt i høsten at den største årlige kulstofoptag indgår, mens det stående lager i bevoksningerne i gennemsnit over 200 år bidrager mindre til den samlede klimaeffekt.

Der er antaget ens udvikling ift. Kulstofpuljer i jord, litterlaget og i puljen af dødt ved. For kulstofpuljen i jord forventes denne at øges i op til 100 år, for derefter at være konstant.

Tabel 3 Kulstofoptag ved skovrejsning, 200 års fremskrivning for 5 scenarier

Årligt optag af kulstof (t CO ₂ eq/ha/år) \ Alder	0-60	60-80	80-100	100-140	140-200	gns 0-200
I: Løv, bøg, høj bonitet, 140 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	16	18	14	13	11	14
I: Løv, bøg, lav bonitet, 100 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	10	16	12	9	7	10
II: Hurtigvoksende kultur, douglasgran, høj bonitet, 60 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	26	23	32	19	23	24
II: Hurtigvoksende kultur, douglasgran, lav bonitet, 80 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	22	13	12	22	15	18
II: Hurtigvoksende kultur, rødgran, lav bonitet, 80 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	16	12	12	14	11	14

Tabel 4 Kulstoflager og kulstofoptag, 200 års fremskrivninger for 5 scenarier

SIDE 15 AF 35

Scenarie	0-60	60-80	80-100	100-140	140-200	gns 0-200
I: Løv, bøg, høj bonitet, 140 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	535	644	729	971	584	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO ₂ eq/ha/år)	9	5	4	6	-6	3
Kulstof i høst (t CO ₂ eq/ha/år)	7	13	10	7	17	11
I: Løv, bøg, lav bonitet, 100 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	414	530	612	801	463	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO ₂ eq/ha/år)	7	6	4	5	-6	2
Kulstof i høst (t CO ₂ eq/ha/år)	3	10	8	5	12	7
II: Hurtigvoksende kultur, douglasgran, høj bonitet, 60 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	663	369	581	394	394	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO ₂ eq/ha/år)	11	-15	11	-5	0	2
Kulstof i høst (t CO ₂ eq/ha/år)	15	38	21	24	23	22
II: Hurtigvoksende kultur, douglasgran, lav bonitet, 80 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	586	696	191	635	528	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO ₂ eq/ha/år)	10	5	-25	11	-2	3
Kulstof i høst (t CO ₂ eq/ha/år)	12	8	38	11	17	16
II: Hurtigvoksende kultur, rødgran, lav bonitet, 80 år, kulstof i lager (t CO ₂ eq/ha)	440	552	167	490	340	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO ₂ eq/ha/år)	7	6	-19	8	-2	2
Kulstof i høst (t CO ₂ eq/ha/år)	9	6	32	6	14	12

Tabel 5 Supplerende data med fokus på de forskellige komponenter af kulstoflager i skoven og disses udvikling over tid

Pulje af kulstoflager	60	80	100	140	200
DW (ens for alle scenarier) (t CO ₂ eq/ha)	4	4	4	4	4
FF (ens for alle scenarier) (t CO ₂ eq/ha)	50	50	50	50	50
SOM (øget lager siden skovrejsning – ens for alle scenarier) (t CO ₂ eq/ha)	46	62	77	77	77

4.3.3. Muligheder for udbygning:

Den realiserede kulstofbinding på et areal med skovrejsning påvirkes af mange faktorer, særligt vækst og overlevelse af træerne de første år. Modellerne har ikke mulighed for at angive estimater for variationen som følge af dette.

Særligt er væksten i perioden 0-20 år kun sjældent målt i forsøgsopgørelser, hvorfor udviklingen i den periode er mere usikkert bestemt. Måltrettede opgørelser og analyser vil kunne supplere viden om skovudviklingen inden for denne tidsramme, der er vigtig i forhold til den tidlige udvikling af ny skov.

Ved en GIS analyse i kombination med aktuel areal anvendelse og jordbundskort kunne der angives potentielle arealer for en samlet

skovrejsning og dennes fordeling. Det er dog ikke inden for ressourcerne til dette notat at lave en sådan analyse.

SIDE 16 AF 35

4.4. Naturlig tilgroning og ekstra brede løvhegn

I en række sammenhænge og på nogle lokaliteter er naturlig tilgroning ønsket. Der er generelt stor variation i forryngelsens etablering og vækst ved etablering af skov med naturlig succession (Aude et al. 2002, Bárcena et al. 2014, Bentsen & Sørensen 2004, Brunner 2000a, 200b, 2001, Brunner & Klitgaard 2000, Gundersen et al. 1999, Schou et al. 2013, Pedersen et al. 2001, Pedersen 2019).

Faktorer, der har stor betydning for kulstofbindingen ved naturlig tilgroning, er jordbund, tilstedeværelse og afstand til eksisterende frøkilder eller stødsrud (fra gamle løvhegn), konkurrence fra anden vegetation, klima (generelt og årlige variationer), fysisk påvirkning af arealet og evt. græsning af tamme eller vilde dyr.

Beregningerne for naturlig tilgroning er baseret på en række studier, der dog ikke er så omfattende og afspejler en stor variation i udviklingen af arealer med naturlig tilgroning. I mange tilfælde er der observeret en tilgroning på 10-20 % af arealet i løbet af de første 20 år på åbne arealer (Pedersen 2019) mens arealer der tidligere har været dækket af skov (Koning & Hart 2018) eller i tilknytning til skov (Pedersen 2019, Aude et al. 2002) kan have højere grad af tilgroning (40-60 %) efter 20 år.

I scenarierne er der opstillet en hurtig og en langsom tilgroning, for at afspejle en forventet variation i dækningen. Der er ikke mange data for den langsigtede udvikling, men det forventes at bevoksningernes struktur vil nærme sig det gennemsnitlige skovareal (som referencen for skovrejsning fra NFI) med 100 % for den hurtige tilgroning og 90 % for den langsomme tilgroning.

Muligheder for hugstudsafgrønt af træ er ikke kendt, men antages tilstede, særligt når tilgroningen opnår en vis tæthed og vedmasseopbygning. I beregningerne for 100 år er der antaget 50 % høst ift. NFI referencen i den hurtige tilgroning (i alt 312 t CO₂ eq/ha) og 25 % høst ift. NFI referencen i den langsomme tilgroning (i alt 156 t CO₂ eq/ha). Modeller fremgår af Tabel 6.

Etablering af tilgroning under påvirkning af græsning forventes at have en lavere bevoksningsprocent (< 50%) og ingen høst. Vedmasse niveauer er angivet i Tabel 6, der afspejler en lav produktivitet.

Løvtræhegn med fokus på diversitet og læ, antages at have lavere vækst og tæthed, samt ikke at være tilgængelige for høst (Westergaard et al. 2001, Olrik et al. 2002). Antagelser om vedmasseniveauer er angivet i Tabel 6.

SIDE 17 AF 35

Tabel 6 Overslag over kulstoflager for naturlig tilgroning og løvhegn.

Kulstoflager	Enhed \ Alder	0	10	20	30	40	100
III: Naturlig tilgroning, mange frøkilder	t CO ₂ eq/ha		15	22	30	64	479
III: Naturlig tilgroning, få frøkilder	t CO ₂ eq/ha	0	7	15	22	30	431
III: Naturlig tilgroning, Trædække under 50 %, græsning, ingen høst	t CO ₂ eq/ha	0	11	22	33	44	83
Løvhegn, høj bonitet	m ³ /ha	0	15	30	45	60	75
	t CO ₂ eq/ha	0	17	33	50	66	83
Løvhegn, lav bonitet	m ³ /ha	0	10	20	30	40	65
	t CO ₂ eq/ha	0	11	22	33	44	72

4.4.1. Muligheder for udbygning:

Der er behov for mere viden om faktorer, der har betydning for variationen i kulstoflagring efter naturlig tilgroning, udviklingen over tid, og i hvilket omfang disse arealer skal/kan udnyttes til høst af træ.

4.5. Dødt ved og litterlag

Ved etablering af ny skov opbygges der gradvist en pulje af dødt ved og andet uomsat organisk materiale (litter) i skoven. I Danmarks Skovstatistik (Nord-Larsen & Johannsen 2016) foretages direkte målinger af tykkelse af litterlaget for at estimere disse puljer. Disse data er anvendt som grundlag for hhv. nye skovarealer og for den eksisterende skov. Nøgletal er angivet i Tabel 7 nedenfor. Omsætningen/udledning af kulstof fra dødt ved og litterlaget medtages ikke i direkte i opgørelserne, men udelukkende ændringer i total mængderne, som det også gøres i rapportering af kulstof for skov.

Opbygningen af dødt ved i skove med fravær af høst er indarbejdet i scenarier for biodiversitetsskov og ophør af forvaltning baseret på forsøgsdata (Johannsen et al. 2015).

Tabel 7 Data for puljer for dødt ved og litterlag i skov, baseret på Danmarks Skovstatistik for hhv. skovrejsning efter 1990 (20-30 år) og for skov fra før 1990 (40-100 år). Øvrige værdier ansat ved gennemsnit, idet værdier er sat til 0 ved etablering.

SIDE 18 AF 35

Lager – stock	0-10	10-20	20-30	30-40	40-100
Dødt ved t CO ₂ eq/ha	0	0,3	0,5	2,5	4,4
Litterlag t CO ₂ eq/ha	0	8,5	17,0	33,3	49,6

4.5.1. Muligheder for udbygning:

Der er behov for bedre data og modeller for litterlagets og det døde veds kulstoflagring efter skovrejsning på landsplan, især på længere sigt (50+ år). Der findes meget detaljeret viden fra case studier, herunder Vestskoven ved København (Vesterdal et al. 2002, Barcena et al. 2014a).

Datagrundlaget for at kvantificere opbygningen af kulstoflager i dødt ved og litterlag ved naturlig tilgroning er sparsomt, og det giver ikke grundlag for særlige opgørelser af dødt ved og litterlag for de forskellige scenarier af tilgroning. De angivne estimer afspejler hovedsagligt aktivt forvaltet skov. Schou et al. (2013) opgjorde at 17 % af skovrejsningen siden 1990 var kommet som følge af naturlig tilgroning, bl.a. på arealer med hede og mose (Thorup Lottrup 2019).

4.6. Jordbund

Ved etablering af skov på et areal tidligere anvendt til landbrugsdrift, øges kulstofpuljen i jorden. Effekten af gradvist øget kulstofpulje i jorden ved skovrejsning er medtaget i beregningerne, jf. standardsatser på 0,21 t C/ha/år over 100 år (se Johannsen et al. (2019), afsnit 5.2.2 – svarende til 0,77 t CO₂ eq /ha/år). Dette er opgjort på tværs af forskellige jordbundstyper og afspejler sammensætning af såvel landbrugsarealet som skovarealet og forskellen mellem disse. Nærmere analyser af opgørelser og udvikling i kulstofpuljer i skovjorde kan findes i Barcena et al. (2014a, 2014b), Callesen et al. (2015), Rahman et al. (2017) og Nilsson & Aller (2019).

Ændret hydrologi, såvel dræning som ophør af dræning, vil have effekt på optag/udledninger fra jorden (se også afsnit 5.2.2 i NFAP og nedenstående Tabel 8). En øget fugtighed forventes at øge bindingen af kulstof i jord. Dog forventes mængden af kulstof i vegetationen at blive mindre, ligesom udledning af metan og lattergas forventes at stige. Eventuelle effekter af ændret hydrologi er ikke indregnet i scenarierne for skovrejsning og der er ikke medtaget effekter på udledning af metan og lattergas.

Typisk vil skovarealer på tidligere mosearealer og lavbundslande have et højere indhold af kulstof som udgangspunkt også før etablering af skov, hvilket også afspejles i disse arealer.

Ved ændring af arealanvendelse vil dynamik i jordbunden blive påvirket, særligt hvor etablering af skov medfører ophør af jordbearbejdning i forbindelse med årlige afgrøder.

I de årlige opgørelser af Danmarks klimaregnskab, herunder LULUCF (senest Nielsen et al. 2019) opgøres landbrugsarealer. I opgørelserne indgår såvel afgrøder som udviklingen i jordbunden. Mens vegetationen i praksis antages at være konstant (med udsving i løbet af året og mellem forskellige afgrødesystemer) så der kulstofpuljerne i jordbunden mere stabil, dog med udledninger fra de organiske jorde, hvori indgår lavbundslande. Ved skovrejsning anføres i LULUCF regnskabet en udledning svarende til sommerafgrøden på fx landbrugsarealet (22 t CO₂ eq/ha). Dette gøres uanset at afgrøden er høstet før plantning med træer. Ved overgang til skov, øges kulstofpuljen i såvel jord som i biomasse. Hvis skovrejsningen sker på en jordbundstype der ved landbrugsdrift taber kulstof, vil skovrejsningen både optage ekstra kulstof og stoppe udledningen. Niveauet heraf afhænger af såvel jordbundstype, afgrøde og årets klima (nedbør og temperaturer). For nærmere beskrivelser henvises til Nielsen et al. (2019 – særligt kapitel 6).

Tabel 8 Drivhusgasudledning fra dræned og dræned genfugtede jorde. (se også afsnit 5.2.2 i NFAP). I GWP indgår effekt af nedbrydning af drivhusgasser i atmosfæren.

	Udledning	Enhed	t CO ₂ eq/ha/år
CO ₂ udledninger fra dræned organiske jorde	2,6	t CO ₂ /ha/år	2,6
N ₂ O udledninger fra dræned organiske jorde (GWP – Global Warming Potential 298)	4.4	kg N ₂ O /ha/år	1,3
CH ₄ udledninger fra dræned og genfugtede organiske jorde (varierende emissioner) (GWP – Global Warming Potential 25)	2,5 - 237	kg CH ₄ -C/ha/år	0,06 – 5,9

Der er i nærværende notat ikke beregnet ændringer i udledninger af lattergas og metan, idet der ikke generelt forventes ændret på hydrologien ved skovrejsning. Tallene i Tabel 8 er fra IPCC 2014: Wetland supplement. Spændviden er angivet for CH₄, hvor den lave værdi er for grøfter på organiske jorde mens den høje værdi er for gen-fugtede organiske jorde. Det er forklaret mere i NFAP rapporten (Johannsen et al. 2019). For de andre gasser er der ikke forskellige faktorer. Da vi indtil nu ikke har haft mulighed for at samle nationale data, er IPCC's standard værdier anvendt. Arealer der forventes at være/blive meget fugtige/delvist oversvømmede forventes ikke inddraget til skovrejsning, da kun få træarter trives under de vækstvilkår.

4.6.1. Muligheder for udbygning:

SIDE 20 AF 35

I det omfang, at særlige jorde (lavbundsjorde) skal inddrages i skovrejsning, kan der foretages direkte opgørelser i forhold til de berørte arealer og disses hydrologiske forhold samt forekomst af organiske jorde (med højt kulstofindhold). Der er meget lidt konkret viden om drivhusgasdynamik for udtagne lavbundsjorde, også efter skovrejsning eller naturlig tilgroning. Der vil være effekt på udledninger som følge af ophørt landbrugsdrift, med jævnlig jordbearbejdning. Hydrologien på disse jorde kan begrænse træartsvalg ved skovrejsning, da genskabelse af naturlig hydrologi i nogle tilfælde vil begrænse trævæksten på arealerne.

4.7. Høst af træ (biomasse)

Kulstofpuljen i høsten er opgjort som for den levende, overjordiske biomasse, uanset anvendelsen efterfølgende (træprodukter eller energi). I det følgende beskrives nogle elementer ift. kulstoflagring og reduceret CO₂ udledning (substitutionseffekt) for det høstede træ.

I opgørelserne af høstet træ fra skove er der to hovedpuljer der arbejdes med, hvor træ til træprodukter (dvs. skårne produkter, træplader og papir) indgår i en særlig pulje – Harvested Wood Products (HWP). Hvert år indgår ny høst i puljen og den samlede pulje antages at blive reduceret gradvist afhængig af levetiden for de forskellige produkter. I flg. standarden for beregningerne antages skårne produkter at blive halveret på 35 år, træplader på 25 år og papir på 2 år. I rapporteringen (som angivet i Johannsen et al. 2019) opgøres kulstofpuljen i denne gruppe, og der inddrages udvikling over tid.

En del af det høstede træ går direkte fra skoven til forskellige former for energiproduktion. I hugststatistikken (Nord-Larsen et al. 2019) fremgår det at 60 % af hugsten i de danske skove går direkte til energitræ (typisk flis) og brænde. I opgørelserne af de danske udledninger fra energiproduktion, medtages ikke udledninger fra forbrænding af biomasse, da kulstofpuljen i denne biomasse er fraregnet det lager der opgøres i skoven.

Fordelingen af træets anvendelse til gavntræ og energiformål er påvirket af den aktuelle aldersstruktur og markedsforhold. Aktuelt er der en høj andel af energitræ i høsten fra skovene. Dette kan ændre sig, hvis der kommer mere fokus på udnyttelse af det høstede træ til produkter frem for energitræ. En del af den nuværende hugst udgøres af små dimensioner, hvor der er brug for produktudvikling der kan nyttiggøre små dimensioner af træ til varige produkter (fx kan man forestille sig at træer der i dag udnyttes til flis til afbrænding, fremover kan udnyttes til kompositter, fiberbaserede produkter

eller indgå i CCSU teknologier – Carbon Capture, Storage and Use teknologier).

SIDE 21 AF 35

Hvornår der kan høstes gavntræ af hhv. løv og nål afhænger af vækstforholdene (dimensionsudvikling) samt markedsforhold. Med det nuværende marked så kan der høstes gavntræ fra løv efter 40-50 år og for nål efter 20-30 år, med en stigende andel. For meget store træer kan der opstå skader der nedsætter mulighederne for udnyttelse til gavntræ.

4.7.1. Træ til energi

Madsen & Bentsen (2018) viser, at for en reelt gennemført konvertering fra kul til træ for et kraftvarmeværk, er den umiddelbare udledning ved afbrænding af biomasse lidt højere (+3,2%) end for kul, altså en fortrængningseffekt på 0.97. Men når kulstofgæld og naturlig forrådnelse af biomassen blev taget med i betragtning, var gælden alligevel tilbagebetalt inden for det første år efter konverteringen.

Den støkiometriske CO₂ udledning per energienhed fra træ er næsten den samme eller lidt over kul, så hvis konverteringen fra kul til træ ikke nedsætter værkets effektivitet vil den direkte udledningen være den samme.

Ovenstående betragtninger er i de fleste tilfælde baseret på en antagelse om at biomasse fortrænger kul. Man kan imidlertid ikke antage, at biomasse til energi fortrænger en bestemt energiressource, hverken kul eller vindenergi. I hvert enkelt tilfælde må man analysere den sammenhæng biomassen kommer til at indgå i, hvor træet kommer fra og hvad der ville være sket med træet hvis det ikke blev brugt til energi. Der er en udbredt mangel på empiri ift. spørgsmålet om, hvad der erstattes. Reelt må man aktuelt forvente, at alternativet til biomasse er et mix af kul, naturgas, vandkraft (importeret el), vind og sol. Jo længere vi kigger ud i fremtiden, des mere 'grønt' bliver det sandsynlige alternativ til biomasse.

4.7.2. Substitution

Der er lavet en del undersøgelser af de samlede kulstofbalancer af træprodukter, når også fortrængning tages i betragtning. En hyppig anvendt kilde er Sathre & O'Connor (2010), som viser at 1 ton kulstof i træprodukter (ikke træ til energi) fortrænger 1-3 ton fossilt kulstof med en medianværdi på 2,1. Der er forskellige opgørelser af træprodukters substitutionseffekt og alternative bud kan findes i disse kilder (De Rosa et al. 2018, Geng et al. 2017, Smyth et al. 2017, Bentsen et al. 2019).

Et samlet overslag over kulstofeffekten af høstet træ kan beregnes som følger:

SIDE 22 AF 35

Aktuelt er det ca. 60% af hugsten fra Danmarks skove, der går direkte til energi. Dermed er der ca. 40% af hugsten der går til træprodukter, der med et skæreudbytte på 47-48% resulterer i at ca. 20% af hugsten, der ender direkte i træprodukter (HWP).

Hvis der antages en substitutionseffekt på 2 for træprodukter (20%) og resten (60+20%) i energi med en gennemsnitlig substitutionseffekt på 0.5 (et mix af energityper) – vil en samlet substitution være $0,2*2+0,8*0,5=0,8$. Hvis høsten til energi udelukkende erstatter kul, vil effekten være $0,2*2+0,8*0,97=1,2$.

Substitutionseffekten er MEGET afhængig af hvor stor en del af træet der udnyttes til varige produkter (og det kan være andet end tømmer produceret på savværker) og hvilke energikilder det erstatter. Selve begrebet substitutionsfaktorer er stadig i udvikling, idet det afhænger af:

- Afgrænsning af system - fx om der medtages den fulde produktion af materialer (træ, beton, kul, olie, naturgas),
- Tidsrum - fra start af byggeproces til færdigt hus eller den cirkulære tilgang,
- Dynamik - kulstoflager eller energi produktion, virkning på udbud og efterspørgsel af produkter på lokal og global skala.

I beregningerne er der anvendt en substitutionseffekt på 1,0 hvilket er en forenkling ift. de store usikkerheder der er ift. opgørelserne. Dette for at holde analysen inden for de givne ressourcemæssige tidsrammer.

Substitutionseffekterne vil ændre sig over tid, idet alternativerne som træ substituerer vil ændre sig over tid, særligt over 100-200 år. Fx vil der komme mere vedvarende energi og der kan generelt ske udvikling af teknologi vedr. såvel energiforsyning og byggeri. Hvordan de vil påvirke den samlede substitutionseffekt er vanskelig at opgøre

Substitutions effekter indgår ikke direkte i LULUCF regnskaber.

4.7.3. Træprodukter (HWP) og LULUCF regnskab

Den regnskabsmæssige effekt af anvendelse af hugst på LULUCF regnskabet:

- Er afgrænset til den mængde af træprodukter der produceres i Danmark baseret på træ høstet i danske skove.

- Trævarer produceret i Danmark medtages i regnskabet også selvom det eksporteres (fra 2021).
- I det omfang at råtræ høstet til gavntræ i skoven sælges til udenlandske træindustrier vil det ikke indgå i det danske LULUCF regnskab.
- Der anvendes halveringstider for træprodukter i HWP rapportering til LULUCF (35 år for savet træ, 25 år for træplader og 2 år for papir).
- I det omfang at dansk industri anvender udenlandsk produceret træprodukter, påvirker det indirekte det danske LULUCF regnskab i det omfang at anvendelsen reducerer belastning i andre dele af klimaregnskabet (fx gennem mindre forbrug af stål og beton og mindre energiforbrug til transport og byggeri).
- I det omfang at høstet træ fra skovene anvendes til energiproduktion i Danmark vil det indgå i den samlede energiforsyning. Hvad det erstatter kan ikke opgøres i dette notat, men CO₂ udledningen bliver rapporteret i skovregnskabet.

Med en øget hugst, vil der være et højere inflow til HWP delen af LULUCF rapporteringen. Med den nuværende hugst og den aktuelle udnyttelse af dansk høstet gavntræ, fører det til et total inflow af kulstof til HWP puljen på ca. 600 kt CO₂ eq/ år i 2018 (heraf 234 kt CO₂ eq/ år fra savskåret træ og 366 kt CO₂ eq/ år fra træplader). Skovrejsning vil efterhånden som den vokser bidrage til inflow af HWP i LULUCF regnskabet. Med en større andel af høst til træprodukter vil bidraget øges.

Som del af analyserne i Graudal et al. (2013) blev der samlet en beskrivelse af den aktuelle udnyttelse af høst fra skovene afhængig af træartstype (løv og nål) og størrelse på træerne (diameter i 1,3 m højde over jorden. Den fordeling er vist i Tabel 9. Jo større og ældre træerne er jo større andel anvendes til gavntræ. Denne fordeling vil ændre sig over tid som følge af ændringer i marked for træ til energi og til gavntræ og af den teknologiske udvikling ved høst og ved anvendelse af høstet træ fra skovene.

Tabel 9 Procentvis fordeling af hugst til gavntræ (usew) og energitræ(fuel) samt hugstrestre (tab) for forskellige diameterklasser (5-100), fordelt på Jylland og Øerne henholdsvis efter løv og nål (Graudal et al 2013, Johannsen et al 2013).

SIDE 24 AF 35

Sortgrp	dkl5	dkl15	dkl25	dkl35	dkl45	dkl55	dkl65	dkl75	dkl100
Jylland – løv									
Usew	0	0	20	30	40	50	55	50	45
Fuel	80	90	70	60	50	35	30	35	40
Tab	20	10	10	10	10	15	15	15	15
Jylland – nål									
Usew	0	25	60	65	65	60	60	50	50
Fuel	90	60	15	20	25	30	30	40	40
Tab	10	15	25	15	10	10	10	10	10
Øerne – løv									
Usew	0	0	20	35	50	55	60	55	45
Fuel	80	90	70	55	40	30	25	30	40
Tab	20	10	10	10	10	15	15	15	15
Jylland – nål									
Usew	0	25	60	65	65	60	60	50	50
Fuel	90	60	15	20	25	30	30	40	40
Tab	10	15	25	15	10	10	10	10	10

4.7.4. *Muligheder for udbygning*

Der kunne inddrages analyser af effekten af substitution, herunder effekten af brug af træ til byggeri og energi. Dette ville have været for omfattende at inddrage i den aktuelle analyse, da substitution af stål, beton, kul og gas afhænger af en række forhold som pris, mængder og markedskræfter. Særlig vigtigt for effekterne er hvorledes det nationale og globale marked er reguleret og hvorledes prisudviklinger påvirker de forskellige aktørers brug af træ (virksomheder, energisektor, borgere, arkitekter, designere m.fl.).

Det vil være vigtigt at følge den faktiske udvikling i høsten i skove såvel som omstillingen i samfundet i øvrigt. Det vil påvirke substitutionseffekterne for materialer og energi, på kort og lang bane.

Det vil være vigtigt at følge anvendelsen af hugsten fra skovene, idet en større anvendelse af træ til gavntræ (skåret træ, træplader og papir) vil have en længere varende klimaeffekt end ved direkte anvendelse til energi.

Det vil være vigtigt at få kortlagt de samlede træstrømme i Danmark, inkl. import og eksport af træ og træbaserede produkter.

4.8. *Tidsperspektiv*

Fælles for beregningerne for skovrejsning antages, at arealerne bliver omfattet af fredskovspligt i den forstand, at der sikres vedvarende skovdække på arealerne jf. Skovloven, men at der ikke er øvrige begrænsninger i skovforvaltningen. Arealerne forventes dermed

efterfølgende bevokset med træer og vil have en gennemsnitlig kulstofoptag som i den indledende periode. Kulstoflageret i det nye skovareal vil stabilisere sig, og kulstofoptag vil kunne hentes ud som træprodukter eller træ til energi, eller frigives gennem den almindelige dynamik i skoven. Beregningerne i dette notat kigger 100-200 år frem. Derefter forventes den nye skovrejsning at indgå som del af det samlede skovareal, jf. reference opgørelsen nævnt nedenfor.

5. Resultater

Kulstofbindingen varierer meget over tid ved etablering af skov (fra 1 til 42 t CO₂ eq /ha/år -Tabel 10). I de første 10 år efter skovrejsning bindes der blot ca. 2 t CO₂ eq /ha/år på de ringere jorder, når der etableres skov med plantning af eg eller andre langsomt voksende træarter samt ved naturlig tilgroning. På gode jorder kan der i de 10 første år bindes 11 t CO₂ eq /ha/år ved skovrejsning med hurtigt voksende løvtræer og 17 t CO₂ eq /ha/år med hurtigt voksende nåletræer. Set over en 100-årig periode varierer effekten ligeledes, om end mindre, fra under 5 til 21 t CO₂ eq /ha/år. Dertil kommer naturlig variation fra år til år betinget af vejr og samspil mellem træernes genetik og andre organismer som svampe, insekter og fauna, der på forskellig vis påvirker væksten af træer i nye skove.

En del af kulstofbindingen fra skoven kan som træprodukter lagre kulstof i lang tid i konstruktioner. Samtidig kan træprodukter anvendes til substitution af fossiltunge materialer (produktion af cement, stål, tegl og mineraluld) og træ kan anvendes til energi. Både binding i træprodukter og substitutionseffekten vil afhænge udnyttelsen af det høstede træ og alternativerne til træ.

Et overblik over resultaterne er angivet i Tabel 10.

- A. Skovrejsning med løvtræer (I) medfører lavere kulstofbinding (3-11 t CO₂ eq/ha/år) de første 0-30 år end skovrejsning med nåletræarter og hurtigt voksende træarter (II) (13-31 CO₂ eq/ha/år).
- B. Skovrejsning på næringsrige, lerholdige jorde (høj bonitet) har generelt en højere kulstofbinding end skovrejsning på magre jorde (lav bonitet).
- C. Typisk forekommer den største årlige kulstofbinding i alderen 20-40 år efter etablering af skov (I), dog for kulturer med hurtigt voksende træarter (II) allerede efter 10-20 år.
- D. Naturlig tilgroning (III) er meget variabel tilvækst, men oftest med lavere kulstofbinding end de andre scenarier som følge af lavere tæthed og langsomt voksende træarter.

- E. Ved skovrejsning med hurtigt voksende hjælpetræarter og/eller nåletræer (II) sker der en hurtig kulstofbinding, og der fastholdes et højt niveau også over tid (beregningerne her sætter alle træarter til en 100 års rotation. Ofte vil hurtigt voksende træarter have en lavere rotation, hvilket vil øge gennemsnitlig kulstofbinding).
- F. En del (40-60 %) af det kulstof der bindes ved træernes vækst, høstes mens træerne vokser og resten findes i hovedbevoksningen som kan høstes til sidst, hvorefter en ny generation af træer gror op. Høst af træ kan enten anvendes til materialer eller til substitution for fossile brændsler. En øget anvendelse til materialer vil give en større kulstofbinding.
- G. Der forventes en lille, men positiv effekt på jordbundens indhold af kulstof og en positiv effekt på skovbundens indhold af dødt ved og litter.
- H. Effekten af ophør af dræning er ikke medtaget. Det vil føre til øget binding af CO₂, men kan også samtidig øge udledningen af metan og lattergas (jf. standardberegninger) og føre til mindre vækst i træerne på arealet.

Tabel 10 Oversigtstabel for kulstofoptag ved skovrejsning

SIDE 27 AF 35

Årlig optag af kulstof (t CO ₂ eq /ha/år) \ Alder	0-10	10-20	20-30	30-40	40-100	Gns.0-100
I: Løv, bøg, høj bonitet	3	6	22	22	17	16
I: Løv, bøg, lav bonitet	2	2	7	17	14	11
I: Løv, eg, høj bonitet	3	7	18	15	10	10
I: Løv, eg, lav bonitet	2	2	8	14	9	8
I: Blandet løv med indblanding af nål, høj bonitet	3	8	21	36	14	15
I: Blandet løv med indblanding af nål, lav bonitet	2	3	7	24	13	11
I: Løv, bøg med ekstra brede skovbryn, høj bonitet	3	6	18	19	14	13
I: Løv, bøg med ekstra brede skovbryn, lav bonitet	2	2	6	14	11	9
II: Hurtigvoksende kultur, bøg med poppel, høj bonitet	11	27	22	23	17	19
II: Hurtigvoksende kultur, eg med poppel, lav bonitet	8	24	6	14	9	11
II: Hurtigvoksende kultur, douglasgran med poppel, høj bonitet	17	42	35	26	15	21
II: Hurtigvoksende kultur, rødgran med poppel, lav bonitet	8	27	7	20	13	14
II: Hurtigvoksende kultur, ½ douglasgran og ½ rødgran med lærk, høj bonitet	13	32	25	30	14	19
II: Hurtigvoksende kultur, ½ douglasgran og ½ rødgran med lærk, lav bonitet	10	22	14	24	14	16
III: Naturlig tilgroning, mange frøkilder	3	3	4	11	12	9
III: Naturlig tilgroning, få frøkilder	2	2	4	6	10	7
III: Naturlig tilgroning, Trædække under 50 % og max 5 m høj	3	3	4	4	1	2
Reference I – NFI skovrejsning siden 1990	5	7	17	19	12	12
Reference II – NFI naturlig tilgroning siden 1990	3	5	10	13	5	6
Reference III – Det danske skovareal – samlet ved konstant areal	9	9	9	9	9	9
Reference IV – Suserup skov, urørt skov	-9	15	-	-	-	1
Reference V – Ophør af drift af 150 år gammel bøgeskov	4	4	4	4	2	2

I Tabel 11 er kulstofbindingen opdelt efter den pulje der forventes at stå i skoven (lageret) og den del der forventes høstet i løbet af de 100 år. Ved foryngelse af skov, høstes lageret for at give plads til en ny generation træer. Dette gøres enten på et tidspunkt eller over en periode (gradvis foryngelse). Ud over den variation der er afspejlet i scenarierne i Tabel 11, kan yderligere valg af forvaltning påvirke kulstofbindingen, hvilket blev gennemgået af Graudal et al. (2013 og 2013b).

I Tabel 12 er vist ændringer i kulstofpuljen i jord samt puljerne i dødt ved og litterlaget. Disse antages ens for alle scenarier.

Tabel 11 Supplerende data med fokus på forskel mellem kulstoflager og kulstof i høst.

SIDE 28 AF 35

Scenarie	0-10	10-20	20-30	30-40	40-100	gns 0-100
I: Løv, bøg, høj bonitet, Kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	28	90	306	425	792	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	3	6	22	12	6	8
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	11	11	8
I: Løv, bøg, lav bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	17	37	104	270	657	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	2	2	7	17	6	7
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	0	8	5
I: Løv, eg, høj bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	30	101	285	384	634	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	3	7	18	10	4	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	5	5	4
I: Løv, eg, lav bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	18	41	118	260	567	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	2	2	8	14	5	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	0	4	2
I: Blandet løv med indblanding af nål, høj bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	33	116	322	452	753	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	3	8	21	13	5	8
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	23	9	8
I: Blandet løv med indblanding af nål, lav bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	19	47	118	278	648	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	2	3	7	16	6	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	8	7	5
I: Løv, bøg med ekstra brede skovbryn, høj bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	29	85	267	370	676	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	3	6	18	10	5	7
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	9	9	6
I: Løv, bøg med ekstra brede skovbryn, lav bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	19	41	102	242	566	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	2	2	6	14	5	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	0	6	4
II: Hurtigvoksende kultur, bøg med poppel, høj bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	109	90	306	425	792	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	11	-2	22	12	6	8
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	29	0	11	11	11
II: Hurtigvoksende kultur, eg med poppel, lav bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	77	252	118	260	567	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	8	18	-13	14	5	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	7	20	0	4	5
II: Hurtigvoksende kultur, douglasgran med poppel, høj bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	171	296	435	535	818	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	17	12	14	10	5	8
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	29	21	16	10	13
II: Hurtigvoksende kultur, rødgran med poppel, lav bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	82	280	148	294	626	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	8	20	-13	15	6	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	7	20	5	8	8

Scenarie	0-10	10-20	20-30	30-40	40-100	gns 0-100
II: Hurtigvoksende kultur, ½ douglasgran og ½ rødgran med lærk, høj bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	134	372	397	524	741	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	13	24	2	13	4	7
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	8	22	17	11	11
II: Hurtigvoksende kultur, ½ douglasgran og ½ rødgran med lærk, lav bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	96	234	256	394	708	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	10	14	2	14	5	7
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	8	12	10	9	9
III: Naturlig tilgroning, mange frøkilder (20 år), høj bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	25	55	89	148	609	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	3	3	3	6	8	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	1	5	4	3
III: Naturlig tilgroning, få frøkilder (60 år), lav bonitet, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	24	48	81	114	562	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	2	2	3	3	7	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	3	2	2
III: Naturlig tilgroning, Trædække under 50 % og max 5 m høj, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	27	55	92	129	213	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	3	3	4	4	1	2
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	0	0	0
Reference I – NFI skovrejsning siden 1990 - NFAP model, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	46	118	272	366	609	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	5	7	15	9	4	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	2	10	8	6
Reference II – NFI naturlig tilgroning siden 1990 - 50 % kronedække, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	33	80	177	303	609	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	3	5	10	13	5	6
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	0	0	0
Reference III – Det danske skovareal – samlet ved konstant areal, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	300	308	315	323	369	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	1	1	1	1	1	1
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	8	8	8	8	8	8
Reference IV, Suserup skov, urørt skov kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	841	995	995	995	995	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	-9	15	0	0	0	1
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	0	0	0
Reference V - Ophør af drift af 150 år gammel bøgeskov, kulstof i lager (t CO2 eq/ha)	425	467	509	551	626	
Ændring i lager (AG+BG+DW+FF+SOM) (t CO2 eq/ha/år)	4	4	4	4	2	2
Kulstof i høst (t CO2 eq/ha/år)	0	0	0	0	0	0

Tabel 12 Supplerende data med fokus på de forskellige komponenter af kulstoflager i skoven og disses udvikling over tid

SIDE 30 AF 35

Pulje af kulstoflager	10	20	30	40	100	
DW (ens for alle scenarier) (t CO ₂ eq/ha)	0,3	0,5	2,5	4,4	4,4	
FF (ens for alle scenarier) (t CO ₂ eq/ha)	9	17	33	50	50	
SOM (øget lager – ens for alle scenarier) (t CO ₂ eq/ha)	8	15	23	31	77	

6. Diskussion

Etablering af skov vil erstatte anden arealanvendelse; i Danmark oftest landbrugsafgrøder eller vedvarende græsarealer. Disse arealer indgår også i Danmarks klimarapportering samtidig med at de bidrager med bl.a. fødevarer og foderproduktion. Udtag af landbrugsarealer vil kunne påvirke produktion og handel med fødevarer, evt. import fra andre lande. Der vil også være arealer som uden større indflydelse på aktuel produktion vil kunne udtages af landbrugsarealet. Disse forhold er ikke analyseret i dette notat.

I skovarealet er der pt ca. 5 % hjælpearealer og ubevoksede arealer (Nord-Larsen et al. 2018). Ved etablering af større nye skovarealer, bør der afsættes arealer til hjælpearealer, som fragår det areal, hvor væksten og kulstofbindingen foregår.

7. Konklusion

Ved skovrejsning er der således ikke ét tal for kulstofoptaget, der vil være gældende, men kulstofoptaget vil være påvirket af følgende hovedfaktorer:

- Hvor – jordbunden og lokale vækstvilkår (nedbør, temperatur).
- Hvordan – træart og forvaltning (plantning, tilgroning, hjælpe træer).
- Hvornår – alder af skovrejsningen påvirker kulstofoptaget i den aktuelle periode.

Ny skovrejsning, som den er gennemført siden 1990, vil have en gennemsnitlig kulstofbinding på 12 t CO₂ eq/ha/år, med en spændvidde på 4-21 t CO₂ eq/ha/år afhængig af hovedfaktorerne. Det samlede skovareal har en årlig kulstofbinding på 9 t CO₂ eq/ha/år. Både kulstoflageret i skoven og mulighed for substitutionseffekter gennem høst af træ påvirkes af skovforvaltning og udviklingen i de sektorer der anvender høstet træ.

8. Referencer

SIDE 31 AF 35

- Andersen, M. (1950): Form factor investigations and yield tables for Japanese larch in Denmark. Formtal og tilvækst for japansk lærk. Det Forstlige Forsøgsvæsen, Danmark. 19 (160):331-410.
- Aude, E, Hansen, DN, Møller, PF & Riis-Nielsen, T (2002): Naturnær skovrejsning – et bæredygtigt alternativ? Danmarks Miljøundersøgelser. 47 s.- Faglig rapport fra DMU nr. 389. <http://faglige-rapporter.dmu.dk>
- Bárcena, T.G., Kiær, L.P., Vesterdal, L., Stefánsdóttir, H.M., Gundersen, P., Sigurdsson, B.D., (2014b). Soil carbon stock change following afforestation in Northern Europe: A meta-analysis. *Global Change Biology* 20, pp. 2393-2405.
- Bárcena, TG, Gundersen, P & Vesterdal, L (2014a): Afforestation effects on SOC in former cropland: Oak and spruce chronosequences resampled after 13 years. *Global Change Biology*, 20(9), pp. 2938–2952. doi: 10.1111/gcb.12608.
- Bentsen NS & Sørensen MA (2004): Etablering af løvtræ på marginale landbrugsjorder. *Skov & Landskab*. 53 pp.
- Bentsen, NS, Jørgensen, JR, Stupak, I, Jørgensen U & Taghizadeh-Toosi, A (2019). Dynamic sustainability assessment of heat and electricity production based on agricultural crop residues in Denmark. *Journal of Cleaner Production* 213: 491-507
- Bergstedt, A. 1981: Dyrkning af poppel. Statens forstlige Forsøgsvæsen. 106 s.
- Brunner, A & Klitgaard, OL (2001): Genopbygning af tyske skove efter orkanskader – Temadag i Freiburg. *Skoven Særnummer 2/2001*: 60-62.
- Brunner, A (2000a): Genopbygning af tyske skove efter orkanskader – Erfaringer fra Sydtyskland efter 1990. *Skoven 2/2000*: 90-93.
- Brunner, A (2000b): Genopbygning af tyske skove efter orkanskader – Erfaringer fra Nordtyskland. *Skoven 6-7/2000*: 285-288.
- Brunner, A (2001): Naturlig tilgroning efter stormfald. *Skovbrug, Videnblad 3.1-6*.
- Callesen, I, Stupak, I, Georgiadis, P, Johannsen, VK, Østergaard, HS & Vesterdal, L (2015): Soil carbon stock change in the forests of Denmark between 1990 and 2008. *Geoderma Regional*, bind 5, s. 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.06.003>
- De Rosa, M., M. Pizzol and J. Schmidt (2018). How methodological choices affect LCA climate impact results: the case of structural timber. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 23(1): 147-158.

Geng, A., H. Yang, J. Chen and Y. Hong (2017). Review of carbon storage function of harvested wood products and the potential of wood substitution in greenhouse gas mitigation. *Forest Policy and Economics* 85(Part 1): 192-200.

Graudal, L, Nielsen, UB, et al., (2013): Muligheder for Bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100. Available at:
<http://ign.ku.dk/formidling/publikationer/rapporter/filer-2013/Final-Skovenes-bidrag-biobaseret-oekonomi-17jan.pdf>.

Graudal, L, Nielsen, UB, Schou, E, Thorsen, BJ, Hansen, JK, Bentsen, NS og Johannsen, VK (2013b): Dansk skovbrugs mulige bidrag til øget træproduktion og imødegåelse af klimaforandringer. Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, Frederiksberg. 16 s. ill.
<https://ign.ku.dk/publikationer/publikationer/haefter/filer/DkSkovBidrag2014.pdf>

Gundersen, P, Matthesen, P, Buttenschøn, RM, Jensen, FS, Riis-Nielsen, T, Callesen, I, Ramhøj, G (1999): Skovrejsning og vedvarende græsarealer - Drastrup projektet.

Jansen, J.J., J. Sevenster og P.J. Faber (1996). OPBRENGST TABELLEN voor belangrijke boomsoorten in Nederland. IBN rapport nr. 221
 tevens verschenen als: Hinkeloord Reports No. 17.

Johannsen, VK, Nord-Larsen T, Bentsen NS, Suadicani K, Hansen JK, Nielsen UB & Graudal L (2013): Scenarieberegning for biomasseproduktion i skov – virkemidler og forudsætninger. Baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110. IGN notat. 39 s.

Johannsen, VK, Nielsen, K, Fritzboeger, B, Buchwald, E, Serup, H, Møller, PF, Schmidt, IK; Kepfer Rojas, S; Nord-Larsen, T Larsen, JB Jørgensen, BB Vesterdal, L, Rune, F, Halse, AY, Riis-Nielsen, T, Arndal, M F (2015). Opgørelsesmetoder og udvikling i dødt ved. (2. udg.) Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport

Johannsen, VK, Nord-Larsen, T, Vesterdal, L, Suadicani, K, & Callesen, I (2017): Identifying potential uncertainties associated with forecasting and monitoring carbon sequestration in forests and harvested wood products. Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen.

- Johannsen VK (2018): Hvor meget tørstof og kulstof kan der bindes ved skovrejsning? Sagsnotat 2018. 3 s., aug. 16, 2018. https://static-curis.ku.dk/portal/files/203807749/Sagsnotat_skovrejsning20180816.pdf
- Johannsen VK, Nord-Larsen T, Bentsen NS, Vesterdal L (2018): Hvorfor tallene i forskellige virkemiddel opgørelser er så forskellige fra hinanden? Sagsnotat. 2018. 10 s., sep. 13, 2018. https://static-curis.ku.dk/portal/files/203807657/Sagsnotat_skovrejsning_sammenligning_20180913_LBST.pdf
- Johannsen, V. K., Nord-Larsen, T., Bentsen, N. S., & Vesterdal, L. (2019). Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030 - resubmission 2019. (1 ed.) Frederiksberg: Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport. https://static-curis.ku.dk/portal/files/232139225/DNFAP_revised_2019_web20191220.pdf
- Johannsen VK & Nord-Larsen T (2020): Klimaeffekter af urørt skov og anden biodiversitetsskov: Sagsnotat 2020. 45 s. https://static-curis.ku.dk/portal/files/240419539/Sagsnotat_klima_NP_20200417_bilag.pdf
- Koning, JHC de & Hart, M (2018): Forest recovery after windthrow – an assessment of three treatments in two experimental sites in Southern Denmark. Thesis at Master of Science (MSc) in Forest and Nature Management. 283 pp.
- Madsen, K. and S. N. Bentsen (2018). "Carbon Debt Payback Time for a Biomass Fired CHP Plant—A Case Study from Northern Europe." *Energies* 11(4).
- Nielsen, AT, Nord-Larsen, T, Stupak, I & Raulund-Rasmussen, K 2015, 'Allometric Biomass, Biomass Expansion Factor and Wood Density Models for the OP42 Hybrid Poplar in Southern Scandinavia' *Bioenergy Research*, bind 8, nr. 3, s. 1332-1343. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9592-3>
- Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T. M., & Hansen, M.G. 2019. Denmark's National Inventory Report 2019. Emission Inventories 1990-2017 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 886 pp. Scientific Report No. 318. <http://dce2.au.dk/pub/SR318.pdf>

- Nielsen, UB, Madsen, P, Hansen, JK, Nord-Larsen, T & Nielsen, AT (2014):
Production potential of 36 poplar clones grown at medium length rotation in
Denmark. *Biomass & Bioenergy*, bind 64, s. 99-109.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.030>
- Nilsson KN & Aller A (2019): Kulstofbinding i jordbunden ved rejsning af
bøgeskov på landbrugsjord i Vestskoven. BSc projekt geografi og
geoinformatik. 51 pp.
- Nord-Larsen, T & Nielsen, AT (2015): 'Biomass, stem basic density and expansion
factor functions for five exotic conifers grown in Denmark' *Scandinavian
Journal of Forest Research*, bind 30, nr. 2, s. 135-153.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2014.986519>
- Nord-Larsen, T, & Johannsen, VK (2016): Danish National Forest Inventory:
Design and calculations. Department of Geosciences and Natural Resource
Management, University of Copenhagen. IGN Report
- Nord-Larsen, T, Johannsen, VK, Riis-Nielsen, T, Thomsen, IM, Bentsen, NS,
Gundersen, P, & Jørgensen, BB (2018): Skove og plantager 2017: Forest
statistics 2017. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns
Universitet.
- Nord-Larsen, T, Meilby, H & Skovsgaard, JP (2009) Site specific height growth
models for six common tree species in Denmark, *Scandinavian Journal of
Forest Research*, 24:3, 194-204, DOI: 10.1080/02827580902795036
- Nord-Larsen, T, Meilby, H & Skovsgaard, JP (2017): Simultaneous estimation of
biomass models for 13 tree species: effects of compatible additivity
requirements. *Canadian Journal of Forest Research*, bind 47, nr. 6, s. 765-
776. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0430>
- Nord-Larsen, T, Meilby, H, Johannsen, VK & Skovsgaard, JP (2008):
Development of Vidar a growth model for Danish forest tree species. *Forest
& Landscape*. 76 pp.
- Nord-Larsen, T, Vesterdal, L, Bentsen, NS, Larsen, JB (2019): Ecosystem carbon
stocks and their temporal resilience in a semi-natural beech-dominated
forest. *Forest Ecology and Management*. 447: 67-76.
[nonhttps://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.038](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.038)
- Olrik DC, Westergaard LH, Jensen JS og Norrie JE (2002): Design og plantevalg i
bredere løvtræslæhegn. *Park- og Landskabsserien* nr. 35-2002, Skov &
Landskab (FSL), Hørsholm, 2002. 58 s. ill.
- Pedersen LB, Buttenschøn RM og Jensen TS (2001): Græsning på ekstensivt
drevne naturarealer – Effekter på stofkredsløb og naturindhold. *Park og
Landskabsserien* nr. 34, Skov & Landskab, Hørsholm, 2001. 184 s. ill.
- Pedersen, NK (2019): Data vedr. naturlig tilgroning – pers.medd.

- Rahman, MM, Bárcena, TG & Vesterdal, L (2017): Tree species and time since afforestation drive soil C and N mineralization on former cropland. *Geoderma*, bind 305, s. 153–161.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.002>
- Sathre, R. and J. O'Connor (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy* 13(2): 104-114
- Schou, E, Johannsen, VK, Nord-Larsen, T, og Jørgensen BB (2014): Konkrete opgørelser og erfaringer fra 20 års skovrejsning – med fokus på lokalitet, træart og vækst. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, Frederiksberg. 46 s. ill. <https://static-curis.ku.dk/portal/files/131692423/Skovrejsning.pdf>
- Skovsgaard, JP & Nord-Larsen, T 2012, 'Biomass, basic density and biomass expansion factor functions for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Denmark' *European Journal of Forest Research*, bind 131, nr. 4, s. 1035-1053. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0575-4>
- Smyth, C., G. Rampley, T. C. Lemprière, O. Schwab and W. A. Kurz (2017). Estimating product and energy substitution benefits in national-scale mitigation analyses for Canada. *GCB Bioenergy* 9(6): 1071-1084.
- Thorup Lottrup, JS (2019): The forgotten forest. What characterises the forgotten forests and how are they different from the rest of the forest. MSc thesis Forest and Nature Management. 123 pp.
- Vesterdal, L, Ritter, E. and Gundersen, P 2002. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land. *Forest Ecology and Management* 169, pp 141-151.
- VIDAR - Software - <http://ign.ku.dk/formidling/software/vidar/>
- Westergaard L, Norrie JE og Jensen JS (2001): Anden generation løvtrælæhegn – en analyse af plantevalget i 20 jyske forsøglæhegn etableret i 1980'erne. Park- og Landskabsserien nr. 32, Skov & Landskab (FSL), Hørsholm, 2001. 84 s. ill.
- Østergaard MZ (2019): CO₂-binding i træbiomasse ved rejsning af ny skov. BSc projekt Naturressourcer. 70 pp.

Miljø- og Fødevarerministeriet
Att. Pernille Karlog / Mogens Krogh



BILAG - SAGSNOTAT

25. MAJ 2020

Vedr. Spørgsmål til notat: Kulstofbinding ved skovrejsning, sagsnotat af 24. juli 2019

SKOV, NATUR OG BIOMASSE

Sagsbehandler Vivian Kvist Johannsen

ROLIGHEDSVEJ 23, 1958
FREDERIKSBERG C

I det følgende samles svar på de direkte spørgsmål fremsat i bestillingen fremsendt 13.1.2020 og 16.4.2020 i forhold vedr. sagsnotat om Kulstofbinding ved skovrejsning, sagsnotat af 24. juli 2019. Hovedproduktet er det reviderede notat, som der også henvises til i svar på spørgsmålene.

TLF 35331699
DIR
MOB 20300969

SR1: Ordliste med definitioner, herunder af "kulstofbinding", "kulstofoptag", "kulstoflagring" og "substitutionseffekt" samt akronymer som AG, BG, DW, FF, SOM og CO2 eq.

VKJ@IGN.KU.DK
www.ign.ku.dk

REF: VKJ

Svar: -

Der er indsat en liste over forkortelser i afsnit 4.1.

SR2: Vurdering af effekter på andre klimagasser end CO2 (metan, lattergas mv.), jf. også notatet om klimaeffekter af urørt skov. Alternativt (hvis tabellerne ikke kan udbygges med dette), at der indsættes et generelt tekstafsnit om problematikken og angives skøn for, hvordan og i hvilken skala indregning af disse må formodes at påvirke skovrejsningens samlede klimaeffekt.

Svar:

Tekst er suppleret i afsnit 4.6

SR3: Skøn over det løbende hugstuds-tags fordeling på HWP og øvrig anvendelse, og HWP-andelens bidrag til opbygningen af kulstoflageret,

afskrevet efter sædvanlige principper for halveringstider (og gerne indregnet direkte i tabellerne). Rationale: I forskellige sammenhænge kan der være ønske om at se på effekten alene ift. LULUCF-regnskabet, og heri indgår HWP-bidraget, men ikke resten af hugsten.

Svar:

Afsnit 4.7 er udbygget

SR4: Følsomhedsberegninger ved anvendelse af justerede substitutionsfaktorer (eksempler på påvirkning).

Svar:

Afsnit 4.7.2 er udbygget vedr. dette emne.

SR5: Refleksioner over, i hvilket omfang substitutionseffekter under de gældende regler vil kunne forventes at blive afspejlet i Danmarks klimaregnskab, i udlandets eller ingen af delene (udarbejdes af KU/IGN og evt. efter høring i KEFM efterfølgende).

Svar:

Elementer indarbejdet i afsnit 4.7.2 og 4.7.3

SR6: Kort redegørelse for, i hvilket omfang de angivne klimaeffekter vil kunne bogføres under Danmarks LULUCF-regnskab under gældende regler, herunder ved fradrag af kulstofindhold i tidligere landbrugsafgrøde.

Svar:

Ved areal ændringer rapporteres i LULUCF regnskabet efter en række standard regler. En af disse regler angiver at der ved en ændring skal modregnes i det samlede regnskab for den kulstofpulje der er i biomassen ved ændringen. Dette gælder ved ændring fra skov til naturareal (grassland – med rydning af skov til følge) såvel ved ændring fra landbrug til skov (modregning for den kulstofpulje der er i landbrugsafgrøden om sommeren, ved maksimalt niveau, selvom afgrøden er høstet og udnyttet – svarende til 22 t CO₂ eq/ha). Ved ændring fra skov fjernes der reelt et kulstoflager der kan opgøres på grundlag af data, mens der ved ændring fra landbrug er tale om et varierende kulstoflager, der kun kortvarigt er på arealet. Emnet er fastlagt i IPCC's regnskabsregler. Emnet er også omtalt i NFAP annex 9.5.2.

SR7: Specifikation af kulstofbindingen i jord (SOM) og de fire andre puljer (AG, BG, DW, FF) ved skovrejsning (jf. også bem. i pkt. 24 nedenfor ad tabel 7)

SIDE 3 AF 9

Svar:

Der er tilføjet tabel 12 (i afsnit 5) der sammenfatter informationen for de forskellige puljer, som beskrevet under afsnit 4.

SR8: Vurdering/præcisering af, hvor stor en del af kulstofbindingen, der er additionalt ift. fortsat landbrugsdrift. Rationale: Især kulstofbindingen i jord (SOM) ved fortsat landbrugsdrift formodes at være interessant her; nogle steder vil den måske være negativ (og i så fald er effekten af skovrejsning alt andet lige større end angivet i tabellerne), andre steder en den måske positiv (og i så fald er effekten af skovrejsning alt andet lige mindre end angivet i tabellerne).

Svar:

Der mangler viden til en præcisering og vil afhænge af jordbund og landbrugsdrift. Der er indsat et afsnit om emnet i afsnit 4.6.

SR9: Præcisering i alle tabeller af om år i skæringspunkter hører til i den ene eller anden aldersklasse Eksempel: Indregnes optaget i en skovrejsnings tiende år i aldersklasse "0-10" eller "10-20"? (hvis det er 0-10, så burde aldersklasserne måske hedde 1-10, 11-20 etc.).

Svar:

Ud fra vækstmodellerne er der beregnet kulstofpuljer på tidspunkterne 0, 10, 20, 30, 40 og 100 år. Alder angiver antal vækstperioder og i de første 4 perioder er der i alle tilfælde 10 vækstperioder. I den sidste periode er der 60 vækstperioder. Tabellen er således en beskrivelse af den forventede gennemsnitlige ændring imellem de opgjorte tidspunkter.

SR10: (Øget) forklaring på, om og i givet fald hvordan der er taget højde for, at forskellige skovtyper vil kunne have forskellige omdriftsaldre. Eksempelvis stiger kulstoflageret i alle skovtyper i tabel 7 helt frem til år 100. Betyder det, at ingen af skovtyperne forventes afdrevet inden de fylder 100 år?

Svar:

Nyt afsnit 4.3.2 er tilføjet med forskellige omdriftsaldre.

SR11: Præciser kildereferencerne, så de bliver entydige. Eksempel:
"Johannsen et al (2019)" side 7 midt er tvetydig, da referencelisten
indeholder to eksempler på Johannsen et al (2019).

SIDE 4 AF 9

Svar:

korrigeret

SR12: Forklaring på hvorfor tabellerne regner med 100 %

bevoksningsprocent (for det gør de vel?), når empirien taler for, at den kun er 90 % i nye skove, jf. tekstomtale side 7 midt. Samt gerne lidt overvejelser om realismen i og forudsætningerne bag en sådan 100 %-antagelse. Vil det mest retvisende i lyset af empirien i fremadrettet budgettering reelt være, at gange alle effekttal med 0,9 eller justere alle tabel-tal, så de svarer til 90 % bevoksningsprocent?

Svar:

Notatet beskriver kvantificerede estimater for skovrejsnings effekt for kulstofplager i skov og kulstofbinding. Dertil er formålet at identificere og kvantificere årsager til variationen i estimaterne. I den sammenhæng er bevoksningsprocent ikke afgørende, da den vil være den samme for alle scenarierne.

Bevoksningsprocent er afgørende når modellerne skal implementeres. I enhver skov vil der være behov for arealer der giver adgang til skoven (for maskiner og for rekreation), der vil i nogle tilfælde være større eller mindre lysåbne arealer. I den sammenhæng bør bevoksningsprocent indregnes i den endelige opgørelse af forventninger til et afsat areals samlede effekt for klimaet. En sådan beregning vil også tage i betragtning at det for en skovrejsning typisk vil være hensigtsmæssigt med en kombination af forskellige scenarier. Se også tekst i afsnit 4.2.1 samt 4.3.1, hvor enkelte skærper af teksten er indført. Fremgår også af afsnit 6.

SR13: Præciser (side 7, næstsidste afsnit) hvordan "stadig tilførsel af nye arealer" påvirker de gennemsnitlige årlige optag pr. ha i det samlede skovrejsningsareal siden 1990 i tabel 1 for aldersgruppen 0-20 år. Betyder dette fx, at der for denne aldersgruppe hele tiden er en ensidig overrepræsentation af helt unge bevoksninger og i givet fald hvorfor? (ligger der ikke i NFAP netop en forventning om, at skovrejsningstakten vil være lavere fremadrettet efter 2020 end før 2020, hvormed det modsatte vel kunne forventes, altså at den lidt ældre del af akl. 0-20 år vil

være overrepræsenteret fremadrettet?).

SIDE 5 AF 9

Svar:

En ekstra figur 1 og supplerende tekst er indført i afsnit 4.2.1.

For yderligere informationer henvises til Johannsen et al 2019b (særligt afsnit 6.2 og annex 9.3.4).

SR14: Forklar/uddyb (side 7, sidste afsnit), hvordan en række gennemsnitsoptag i tabel 1 på mellem 2,0 og 3,1 tCO₂ eq/ha/år i akl. 0-20 år kan lede til modeloptag på hhv. 4 og 7 tCO₂ eq/ha/år i aldersklasserne hhv. 0-10 og 10-20 i tabel 2 (hvilket kun i begrænset omfang kan forklares af forskellen på 90 % og 100 % bevoksningsprocent; hvis det skyldes fordelingen mellem NFI I og NFI II, så kunne forklaringen måske hjælpes på vej ved at vise også de samlede vægtede NFI-tal i tabel 2, så der er talrækker i de to tabeller, der direkte kan sammenlignes).

Svar:

Der er beskrivelse af skovrejsningen siden 1990 i afsnit 4.2.1.

Det skal bemærkes at Scenarierne i notatet ikke omfatter rødgran alene, men udelukkende nål i kombination med løv (bøg eller poppel).

Forskel mellem NFI I og NFI II er at den første viser den generelle udvikling for det samlede skovrejsning siden 1990, mens NFI II er baseret på en delmængde heraf med fokus på naturlig tilgroning, hvor der er sparsom viden om udviklingen i kulstofpuljer, som også nævnt i afsnit 4.2.1 og 4.4.1.

SR15: Præciser/uddyb (side 8, første afsnit), hvorfor det antages, at der "ikke er mulighed for høst af træ" i naturligt tilgroet skov. Menes der fx, at det vil være urentabelt at hugge træ til energi eller er det blot lagt til grund som en beregningsforudsætning, at der intet hugges i de første 100 år af en naturligt tilgroet skovs liv?

Svar:

Der henvises til tekst og forklaringer i afsnit 4.4.

SR16: Afsnit om Biodiversitetsskov, urørt skov og ophør af drift, side 8 midt ff.: Se selvstændige bemærkninger herom til sagsnotat om dette og tilret i nærværende hvor relevant (bemærkningerne hertil vil bl.a. efterlyse øget redegørelse for antagelserne vedr. påvirkning af kulstofpuljen i jord, påvirkning af metanudslip (og manglende

afskrivning/nedbrydning heraf i de akkumulerede opgørelser) samt vedr. maksimal kulstofophobning i urørt skov; de vil også efterlyse uddybning om følsomheden overfor tiltag som veteranisering, lysningshugster og dræningsændringer samt i øvrigt fokusere på flere af samme elementer som i nærværende bemærkninger).

Svar:

Se revision af andet notat og mindre korrektur i afsnit 4.2.3 som følge af større spændvide i effekter af kulstofophobning i urørt skov.

SR17: Side 9: Forklar hvorfor tallene for Reference I, II og V i tabel 2 ikke er de samme som tallene for de samme tre referencer i oversigtstabellen side 5.

Svar:

Korrektur indført.

SR18: Side 9 ff. (om vækstmodeller og scenarier) Er det muligt at anslå og angive, hvor store de potentielle områder er for skovrejsning i de forskellige kategorier, der arbejdes med i tabellerne (hhv. ”høj bonitet” og ”lav bonitet” for de forskellige træarter og træartsblandinger)?

Svar:

Det ville forudsætte en større GIS analyse hvor såvel jordbundsforhold som nuværende areal anvendelse blev gennemgået. Det er der ikke tid og ressourcer til inden for nærværende svar.

SR19: Side 10, 3. prik: Hvad betyder det, at der regnes med 100 % bøg og 100 % poppel? Antages det, at 1 hektar med poppel og bøg i blanding vil yde det samme som 1 ha med ren poppel (i 20 år) og 1 ha med ren bøg (i 100 år) tilsammen, altså at en hektar producerer lige så meget som to hektar i de første 20 år?

Svar:

Ja, som det også fremgår af notatet i afsnit 4.3.1

SR20: Side 10, 4. prik: Tilsvarende som ovenfor: Hvad betyder det, at der regnes med 100 % douglas, 100 % rødgran og 100 % poppel? Antages det, at der på en og samme hektar med de tre arter i blanding kan produceres lige så meget som på tre hektar med en hektar af hver art? Og er der eksempler på det i praksis i DK, herunder et målt

gennemsnitsoptag på 42 tCO₂ eq/ha/år for akl. 10-20 år?

SIDE 7 AF 9

Svar:

Tekst revideret i afsnit 4.3.1 for tydeligere forklaring. Der er behov for yderligere data og dokumentation for de forskellige kombinationer af ammetræer (fx poppel og lærk) med fokus på succes rater.

SR21: Side 13, 1. afsnit under ”Jordbund”: Jeg læser afsnittet sådan, at kulstofbindingen i jord i skovrejsningen er medregnet som *forskellen* imellem den forventede fremadrettede kulstofbinding i jord ved fortsat landbrugsdrift og den forventede kulstofbinding i jord ved skovrejsning – er det rigtig forstået? Det vil være fint, hvis den rette forståelse tydeliggøres, og hvis min forståelse er den rette, at det så samtidig angives hvad mellemregningerne i antagelserne medfører (de forventede bindinger i jord isoleret set ved hhv. fortsat landbrugsdrift og ved skovrejsning).

Svar:

Kulstofbindingen i jord er en langsom ændring fra landbrugsarealets niveau til skovbrugsarealets højere niveau, med en forventning om at det tager 100 år. En fortsat landbrugsdrift redegøres der ikke for i dette notat. Tekst i afsnit 4.6 er opdateret mhp. Tydeligere besvarelse af spørgsmålet.

SR22: Tabel 5, side 14 (om den mulige udbygning ift. evt. skovrejsning på lavbundsjorde). Er det muligt i første omgang at foretage en ”udbygning light”, så den omtalte begrænsede konkrete viden, der er om ”drivhusgasdynamikken for udtagne lavbundsjorder, også efter skovrejsning eller naturlig tilgroning” bliver kort beskrevet?

Svar:

Det er meget sparsomt med viden. Der er behov for etablering af arealer til dokumentation af effekter på såvel jordbundens og vegetationens udvikling som de samlede effekter på alle drivhusgasserne. Tekst er udbygget kort med dette. 4.3.3 og 4.6.1.

SR23: Side 14 ff., afsnit om Høstet træ. Se bemærkning 3 ovenfor.

Svar:

Afsnit 4.7 er udbygget

SR24: Side 19-20, tabel 7: Se bemærkningerne ovenfor om mulighederne for udbygning, eventuelt i form af supplerende mere detaljerede tabeller i bilag og evt. blot med udvalgte eksempler (tabel 7 er i forvejen stor).

Svar:

Der er indsat supplerende tabeller i dokumentet for de forskellige puljer lige som tabel 12 er indsat i afsnit 5. Dertil er det muligt at rekvirere regneark med alle beregningerne.

SR25: Vi vil anmode om at der udarbejdes et antal kulturmodeller, hvor lærk benyttes som forkultur/indblanding. Det kan fx være de modeller som indeholder poppel, hvor poppel erstattes med lærk eller andre modeller med lærk I vurderer som relevante.

Svar:

Der er medtaget to ekstra scenarier (høj og lav bonitet) med $\frac{1}{2}$ douglasgran og $\frac{1}{2}$ rødgran hvor kulturmodellen anvender lærk som ammetræ. Det er indarbejdet i tabellerne.

SR26: Vil andre træarter kunne være relevante som forkultur/indblanding fx rødæl og fuglekirsebær på de gode jorde eller birk på lette jorde? Hvis en eller flere vurderes relevant, ønskes der kulturmodeller hvor den eller de arter indgår.

Svar:

Arter som rødæl, kirsebær og birk kan indarbejdes i kulturer. Der er ikke tilstrækkelige data til beregning af kulstofbinding for disse træarter, hvorfor det ikke er indarbejdet.

SR27: Vi har behov for en udregning af CO₂-e optaget for kulturmodellerne for alle tiårsintervaller frem mod 100 år: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 og 100 år, således at intervallerne mellem 40-100 år også fremgår. Er det ligeledes muligt at tilføje en kolonne til kulturmodellerne med et gennemsnitseffektal for 100-200 år?

Svar:

Det anbefales at anvende de gennemsnitstal der allerede er tilgængelige i tabellerne herunder 40-100 år og det samlede gennemsnit 0-100 år.

Notatet har fokus på skovrejsning og derfor fokus på de første 40 år. Der henvises til VIDAR programmet og Excel arket for supplerende data.

SIDE 9 AF 9

SR28: Albedo effekt – kan det indarbejdes?

Svar:

Gennemgang af litteratur og studier vedr. albedo effekt og tilknyttede faktorer ift. såvel lokal som global klimaeffekt ligger uden for rammerne af de ressourcer der er afsat til dette notat.

Ang. Yderligere opbygning af viden:

Der er i IGN's arbejdsprogram for 2020 planlagt følgende opgave der har relevans for kulstofopgørelser og prognoser for skovrejsning. Der er udelukkende afsat lønmidler til projektet.

Nr. 9 "Skovrejsningsvirkemidler" – med fokus på klima, kvælstof og biodiversitet. (3 VIPs + 3 VIPj mandmåneder)

Projektet vil være baseret på litteraturstudier og analyser af eksisterende data, idet der ikke er afsat midler til ekstra dataindsamling.

Der er flere muligheder for udbygning der forudsætter ekstra dataindsamling. Disse muligheder for udbygning kan ikke umiddelbart dækkes af arbejdsprogrammet.

Der er sat et projekt (RePeat) i gang under LBST (uden for IGN's arbejdsprogram), der ser på lavbundslande, men i det projekt er der ikke medtaget skovrejsning. Dette projekt løber over 3 år.